

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODELO ESTRUCTURAL DEL SUBSUELO EN EL CAMPO GUARA ESTE, EDO. ANZOÁTEGUI, MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Geofísico
por la Br. Rosalyn Y. Rengifo A.

Caracas, mayo 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODELO ESTRUCTURAL DEL SUBSUELO EN EL CAMPO GUARA ESTE, EDO. ANZOÁTEGUI, MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Inírida Rodríguez M.
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Javier J. Díaz P.
COTUTOR INDUSTRIAL: Ing. Janckarlos Reyes L.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Geofísico
por la Br. Rosalyn Y. Rengifo A.

Caracas, mayo 2009

Caracas, mayo de 2009

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller. Rengifo A. Rosalyn Y, titulado:

“Modelo estructural del subsuelo en el campo Guara Este, Estado Anzoátegui, mediante la integración de datos geofísicos”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geofísico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor , lo declaran APROBADO.

Prof. (a) Nuris Orihuela
Jurado

Prof. Lennin González
Jurado

Prof. (a) Inírida Rodríguez M.
Tutor Académico

Dedicatoria

*A Omaira Arveláez por darme la vida y ser una mujer tenaz y sincera
A mi querida abuela Rosa Arveláez, mi gran apoyo en los momentos difíciles de mi
vida y la que me ha inculcado todos los valores familiares y
A mi hermano Rafael, mi tesoro maspreciado.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por ser mi refugio, mi aliento, mi norte y mi gran AMIGO. Sin él no hubiese podido ser la persona que soy en estos momentos.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por haber sido el recinto en el cual me formé como profesional, por ser mi segundo hogar y el lugar donde compartí momentos agradables e inolvidables.

A mi tutora académica, Profesora Inírida Rodríguez, por brindarme sus conocimientos y sabios consejos en la realización de este trabajo especial de grado.

A mis queridos tutores industriales, los Ingenieros Janckarlos Reyes y Javier Díaz, por guiarme desde el inicio de este proyecto. De verdad mil gracias....!!!

Al profesor José Cavada, por adoptarme y guiarme en mi formación profesional. De todo corazón gracias por todas las veces que me escuchó...!!

A mi gente del departamento de Mecánica por su infinito apoyo. A mi hermano del alma César Cárdenas, a mi querida lanza tizas Marianela, Jenny (la negra), Glexie y Abel Alejandro, Magda. Gracias a todos.

A mi querido JK (mi nerrito), por ser un hombre paciente y mi compañero sentimental, que me brindó su apoyo en los momentos en los cuales sentí debilidad y en los que tuvo que lidiar con un carácter fuerte como el mío.

A Norma Guzmán, Gabbriella González, Jerina Avendaño, Lilia Núñez, Ignacio Mederos y la Sra Morella Mikaty, gracias, muchas gracias..!!!!

A todos los que creyeron en mi y a los que no también...!!!

Rengifo A. Rosalyn Y.

Modelo estructural del subsuelo en el campo Guara Este, Edo. Anzoátegui, mediante la integración de datos geofísicos.

Tutor Académico: Prof. Inírida Rodríguez M. Tutor Industrial: Javier Díaz Peche. Co-Tutor Industrial: Janckarlos Reyes L. Tesis. Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2009, 120 pag.

Palabras claves: Campo Guara Este, Gravimetría, Magnetometría, Deconvolución de Euler, Anomalía Magnética.

RESUMEN

Este estudio tuvo como finalidad el desarrollo de un modelo geológico-estructural del subsuelo, apoyado en la integración de información geológica y geofísica, que sirva para explicar las anomalías gravimétricas y magnéticas observadas en el área del Campo Guara-Este, mediante la representación en perfiles estratigráficos 2-D. Para ello se utilizaron datos de levantamientos gravimétricos y magnéticos realizados en la zona y se generaron mapas de anomalías gravimétricas y magnéticas, con sus respectivas superficies de tendencias regionales y residuales, con el fin de conocer y estimar las características de las principales estructuras presentes en el área. Se aplicaron los métodos de análisis espectral y deconvolución de Euler al conjunto de datos gravimétricos y magnéticos, para estimar las profundidades de las principales formaciones geológicas, a fin de utilizarlas para el ajuste del modelo estratigráfico final. Se generaron siete perfiles estructurales del subsuelo, mediante el modelaje gravimétrico-magnético, que permitieron determinar una suave profundización del basamento cristalino con dirección noreste, evidenciado en la tendencia de las anomalías gravimétricas por un rumbo NO-SE y un gradiente de -0.54mgal/Km . Por el contrario, se observó una disminución de las anomalías magnéticas hacia el noroeste, con un gradiente de -2.7nT/Km y un rumbo $\text{N}30^\circ\text{E}$, asociado a la influencia de proximidad hacia la Depresión de El Tigre. Así mismo, se comprobó que las tendencias regionales obtenidas por los métodos de continuación analítica del campo y superficies polinómicas, en los mapas de anomalías magnéticas y de Bouguer, se corresponden con las tendencias regionales observadas en los mapas geológicos y estructurales del área, como una expresión geológica de la profundización de la Cuenca Oriental de Venezuela. Finalmente, se determinó que la profundidad del basamento en el área de estudio oscila entre 2.7 y 3 Km y que la fuente intermedia se calcula a una profundidad de 2.5K, lo cual coincide con la discordancia basal o cretácica.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pag.
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO I	1
1.- INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivos generales y específicos	4
1.1.1.-Objetivo General.....	4
1.1.2.- Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II	7
2.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	8
2.1.- Tectónica del Caribe	8
2.1.1.-Limite de las Placas del Caribe y Suramericana	8
Jurásico medio a tardío	9
Jurásico tardío a Cretácico Tardío.....	9
Cretácico tardío a Reciente	9
Eoceno a Reciente.....	10
Oligoceno a Reciente	10
Mioceno a Reciente.....	10
2.1.2.- Estratigrafía regional	11
Megasecuencia Pre-“Rift”	11
Megasecuencia “Rift”	12
Megasecuencia de Margen Pasivo	12
Megasecuencia de la Colisión Oblicua	12

2.- MARCO TECTÓNICO LOCAL.....	13
2.1.-Evolución Tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela	13
“Rifting” o apertura continental.....	14
Margen pasivo	14
Cuenca “foreland” o antepaís.....	15
2.2.-Subcuenca de Maturín.....	15
2.3.-Estructura local.....	17
2.4.-Estratigrafía local	20
2.4.1.- Formaciones Geológicas.....	21
Formación Mesa (Plioceno - Pleistoceno)	21
Formación Las Piedras (Mioceno Tardío – Plioceno).	22
Formación Freites (Mioceno Medio – Tardío).....	23
Formación Oficina (Mioceno Temprano – Medio).....	23
Formación Merecure (Oligoceno – Mioceno Temprano).	24
Formación Canoa (Aptiense – Albiense).	25
Formación Tigre (Cenomaniense – Campaniense).	26
Formación Carrizal Y Hato Viejo (Paleozoico/ Jurásico).....	26
Basamento.....	27
CAPÍTULO III.....	29
3.1.- SECUENCIA DE TRABAJO	30
3.2.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	32
3.2.1.- Mapa geológico y estructural	32
3.2.2.- Fuente de los datos gravimétricos y magnéticos.....	34
3.2.3.- Revisión de los datos gravimétricos y magnéticos	36
3.3.- PROCESAMIENTO DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS.....	36
3.3.1.- Reducción al geoide de los datos gravimétricos	37
3.3.2.- Análisis estadístico de los datos gravimétricos.....	39
3.4.- MAPA DE ANOMALÍA DE BOUGUER.....	41

3.4.1.- Separación regional – residual y continuación analítica de la Anomalía de Bouguer	43
3.4.2.- Análisis espectral de datos gravimétricos.....	51
3.4.3.- Deconvolución de Euler de datos gravimétricos	53
3.5.- PROCESAMIENTO DE LOS DATOS MAGNÉTICOS	56
3.5.1.- Corrección de los datos magnéticos.....	56
3.5.2.- Análisis estadístico de los datos magnéticos	57
3.6- MAPA DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS.....	59
3.6.1.- Separación regional- residual y continuación analítica de los datos magnéticos	60
3.6.2.- Análisis espectral de los datos magnéticos.....	68
3.6.3.- Deconvolución de Euler de los datos magnéticos	69
CAPÍTULO IV	71
4.- INTERPRETACIÓN INTEGRADA.....	72
4.1.- Análisis de resultados gravimétricos.....	72
4.2.- Análisis de resultados magnéticos.....	73
4.3.- Integración de resultados	75
4.4.- Perfiles estructurales del subsuelo en el Campo Guara Este.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
APÉNDICE A.....	95
Valores de Anomalía de Bouguer.....	95
APÉNDICE B.....	106
Mapa regional de Anomalía de Bouguer de 2 ^{do} grado	106
APÉNDICE C.....	107
Mapa residual de Anomalía de Bouguer de 2 ^{do} grado.....	107
APÉNDICE D	108
Valores de Anomalía Magnética	108
APÉNDICE E.....	119
Mapa regional de Anomalía Magnética de 3 ^{er} grado	119

<i>APÉNDICE F</i>	120
<i>Mapa residual de Anomalía Magnética de ^{3er} grado</i>	120

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°	Pag.
3.1: Medidas de tendencia central y dispersión de los datos de Anomalía de Bouguer	39
3.2: Valores de coeficiente de determinación para los datos gravimétricos	46
3.3: Profundidades estimadas de las fuentes anomalas a partir del análisis espectral de los datos de Anomalía de Bouguer	53
3.4: Medidas de tendencia central y dispersión de los datos de Anomalía Magnética	58
3.5: Valores de coeficientes de determinación para los datos magnéticos	65
3.6: Profundidades estimadas de las fuentes anómalas a partir del análisis espectral de los datos de anomalías magnéticas.....	69
4.1. Lista de densidades utilizadas para el modelaje gravimétrico	77
4.2. Lista de parámetros utilizados para el modelaje magnético.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	Pag.
1.1: Mapa de ubicación del campo Guara Este	5
2.1: Cuatro estados del desarrollo del límite de la placa Caribe desde el Eoceno hasta el presente, asociado con la migración de la Placa Caribe hacia el Este ..	11
2.2: Sección Sísmica Norte-Sur del Área Mayor de Oficina, mostrando las diferentes etapas de la Evolución Geodinámico de la Cuenca Oriental.	13
2.3: Corte geológico de la Subcuenca de Maturín	16
2.4: Principales elementos estructurales de la Cuenca Oriental de Venezuela	17
2.5: Ubicación del Área Mayor de Oficina	18
2.6: Principales Fallas en el Área Mayor de Oficina	19
2.7: Sección sísmica interpretada S-N, donde se muestra el complejo estructural de la zona.	20
2.8: Columna estratigráfica generalizada del Área Mayor de Oficina.....	21
3.1: Flujograma de la secuencia de trabajo	31
3.2: Mapa geológico del Área Mayor de Oficina (tomado y modificado de Ministerio de Energía y Minas).	32
3.3: Mapa de Interpretación aeromagnética (Tomado y Modificado de Meneven (1981)).....	33
3.4: Ubicación de estaciones gravimétricas	34
3.5: Ubicación de estaciones magnéticas.....	35
3.6 Mapa de Ubicación de los Pozos A, B, C, D, E y F utilizados para el ajuste de profundidades y espesores de los modelos estructurales propuestos	35
3.6: Modelo de elevación digital regional.....	38
3.7: Histograma de frecuencias de los datos gravimétricos.	40
3.8: Diagrama de caja y bigotes para los datos de Anomalías de Bouguer	40
3.9: a) Prueba Paramétrica P-P y b) Prueba paramétrica Q-Q realizadas en los datos gravimétricos.....	41
3.10: Mapa de Anomalías de Bouguer con densidad 2.1 g/cm ³	42

3.11: Mapa regionales de Anomalías de Bouguer de a) 1er grado , b) 2do grado y c) 3er grado por superficie polinómica	44
3.12: Mapas residuales de Anomalía de Bouguer de: a) 1er grado, b)2do grado y c) 3er grado por superficies polinómicas	45
3.13: Gráfico de coeficiente de determinación Vs grado del polinomio para los datos de Anomalía de Bouguer.....	46
3.14: Imagen satelital de anomalía de Bouguer generada a partir del módulo DAP del Oasis Montaj.	47
3.15: Mapas regionales de Anomalía de Bouguer de: a) 1000 m, b) 2000 m, c) 3000 m y d)5000 m hacia arriba.	49
3.16: Mapas residuales de Anomalía de Bouguer de a) 1000 m, b) 2000 m, c) 3000 m y d) 5000 m hacia arriba.....	50
3.17: Análisis espectral de los datos de Anomalía de Bouguer.	52
3.18: Gráfico de análisis espectral de Anomalías de Bouguer interpretado	53
3.19: Mapa de ubicación en profundidad de las posibles fuentes gravimétricas	55
3.20: Histograma de frecuencia de los datos de Anomalías Magnéticas.	57
3.21: Diagrama de caja y bigotes de los datos de anomalía magnética	58
3.22: a) Prueba Paramétrica P-P y b) Prueba Paramétrica Q-Q realizadas en los datos de Anomalía Magnética	59
3.23: Mapa de Anomalías Magnéticas.....	61
3.24. Mapa regional de anomalía magnética de : a) 1er grado, b) 2do grado y c) 3er grado por superficies polinómicas	62
3.25: Mapa Residuales de anomalía magnética de: a) 1er grado, b) 2do grado y c) 3er grado por superficies polinómicas.	63
3.26: Imagen satelital de anomalía magnética generada a partir del módulo DAP del Oasis Montaj.	64
3.27: Gráfico de coeficiente de determinación Vs grado del polinomio para datos de anomalías magnéticas.....	65
3.28: Continuación analítica ascendente regional de la anomalía magnética para: a) 1000 m, b) 2000m, c) 3000m y d) 5000m.	66

3.29: Reesidual de la continuación analítica ascendente de la anomalía magnética para: a) 1000 m, b) 2000m, c) 3000m y d) 5000m.	67
3.30: Análisis espectral de los datos de anomalía magnética.....	68
3.31: Gráfico interpretado de análisis espectral de anomalía magnética.	68
3.32: Mapa de ubicación en profundidad de las posibles fuentes de anomalías magnéticas.....	70
4.1. Ubicación de perfiles estructurales.	75
4.2. Perfil A-A'	79
4.3. Perfil B-B'	80
4.4. Perfil C-C'	81
4.5. Perfil D-D'	82
4.6. Perfil E-E'	83
4.7. Perfil F-F'	84
4.8: Perfil G-G'	85
4.9: Vista en perspectiva de los perfiles estructurales.....	86

CAPÍTULO I

1.- INTRODUCCIÓN

En la Cuenca Oriental de Venezuela se han venido realizando diversos estudios de exploración geofísica, destinados principalmente a la estimación de la profundidad del basamento, orientación de las principales estructuras geológicas, espesor y litología de las formaciones presentes, con el fin de conocer los volúmenes de hidrocarburos extraíbles que serían destinados para satisfacer las necesidades energéticas del país durante las próximas décadas.

Sin embargo, en el Campo Guara Este, ubicado en la región central del Edo. Anzoátegui, es poca la información disponible sobre las características estructurales y los datos de espesores sedimentarios. En el lugar existen numerosos pozos activos, pero la mayoría de ellos han sido distribuidos en el área sin cumplir con una planificación de ubicación basada en estudios previos de exploración geofísica, lo cual no garantiza el mayor aprovechamiento en la extracción de los hidrocarburos.

Por lo tanto, los trabajos de exploración recientemente realizados en el Campo Guara Este, basados en la aplicación de diferentes métodos geofísicos como la adquisición sísmica de reflexión 3-D, la gravimetría y la magnetometría, ofrecen la oportunidad de emprender un estudio de interpretación integrada de datos geofísicos para conocer mejor las condiciones actuales del subsuelo en dicha región, con lo cual se podrían planificar los sitios más idóneos donde se garantice el mejor aprovechamiento de los yacimientos presentes en el área.

Son numerosos los trabajos de investigación que han sido realizados a lo largo de la Cuenca Oriental, orientados a reunir la más completa información geológica y geofísica de la región; cuyos más destacados se mencionan a continuación:

- ♦ Hedberg et al. (1947) publicaron la primera descripción de la Formación Oficina, la cual explica las características de la unidad desde un punto de vista sedimentológico.

- ◆ Funkhouser et al. (1948) introducen el término Formación Merecure en el subsuelo de los campos petrolíferos de Anaco y describen sus características desde el punto de vista sedimentológico.
- ◆ Gonzáles de Juana et al. (1980) Una reconstrucción de la Cuenca Oriental de Venezuela durante el período Terciario, que incluye la historia geológica del proceso sedimentario y las características distintivas de las unidades litológicas presentes.
- ◆ Campos et al. (1985) realizaron una interpretación estratigráfica en el noreste de Anzoátegui integrando la información existente en el área definiendo los límites de las diferentes formaciones, así como también las edades y ambientes sedimentarios de las mismas.
- ◆ Muñoz (1985) realizó un resumen geológico regional en la Cuenca Oriental con el fin de definir los rasgos estructurales mayores durante el Mioceno, así como también la interpretación sedimentológica y paleoambiental de las unidades litoestratigráficas de la cuenca a partir de la correlación detallada y evaluación de los registros eléctricos de 411 pozos en los estados Guárico y Anzoátegui.
- ◆ Parnaud et al. (1995) describieron dos provincias principales en la parte central de la Cuenca Oriental de Venezuela y construyeron un modelo geológico integrado usando datos estratigráficos, estructurales, geoquímicos y de yacimiento, con la finalidad de identificar los sistemas petroleros y definir yacimientos petrolíferos en el área.
- ◆ Di Croce et al. (1999) realizaron un análisis secuencial en la Cuenca Oriental con la finalidad de obtener una visión integrada de la estratigrafía del subsuelo de la zona costa adentro y costa afuera de la subcuenca de Maturín utilizando principalmente data sísmica, logrando definir cuatro etapas tectónicas mayores durante el Fanerozoico.
- ◆ Arnstein, et al. (1985) realizaron una nueva revisión de la Cuenca Oriental en un gran número de pozos exploratorios de Guárico, Anzoátegui y Monagas. La correlación de estas secuencias contemporáneas permitió

establecer las relaciones estratigráficas en diferentes áreas del subsuelo de la cuenca. También analizaron los ciclos sedimentarios a través de las electrofacies y la bioestratigrafía logrando establecer la edad Oligoceno-Mioceno Temprano para la Formación Merecure, con la presencia de la "Zona Ciperoensis" en pozos del área de Anaco.

1.1 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.1.1.-Objetivo General

Desarrollar un modelo estructural del subsuelo para el campo Guara Este, a partir de la integración de información geológica y geofísica disponible, que permita explicar mediante la representación estratigráfica en perfiles 2D, las anomalías gravimétricas y magnéticas observadas en dicha región.

1.1.2.- Objetivos Específicos

- ◆ Reconocer el comportamiento regional y residual de las estructuras presentes en el área de estudio, a partir de la interpretación cualitativa y cuantitativa de los mapas de anomalías gravimétricas y magnéticas apoyado en el análisis estadístico de los datos.
- ◆ Estimar la profundidad de las estructuras presentes en el área de estudio, mediante la aplicación del análisis espectral y la deconvolución de Euler de los datos gravimétricos y magnéticos.
- ◆ Generar un modelo estructural del subsuelo en el área de estudio, a partir de la información gravimétrica y magnética disponible.
- ◆ Ajustar las profundidades de los estratos en el propuesto a partir del análisis espectral, la deconvolución de Euler y de la información geológica y de registros de pozos disponibles.

1.2.-Localización del área de estudio

El Campo Guara Este se encuentra ubicado al noreste de la Ciudad de El Tigre, jurisdicción de los Municipios Pedro María Freites, San José de Guanipa y Simón Rodríguez en la región central del Estado Anzoátegui, geográficamente ubicado entre las coordenadas UTM Norte 994915.977 y 984890.929 y UTM Este 367833.669 y 401583.644 (figura 1.1).

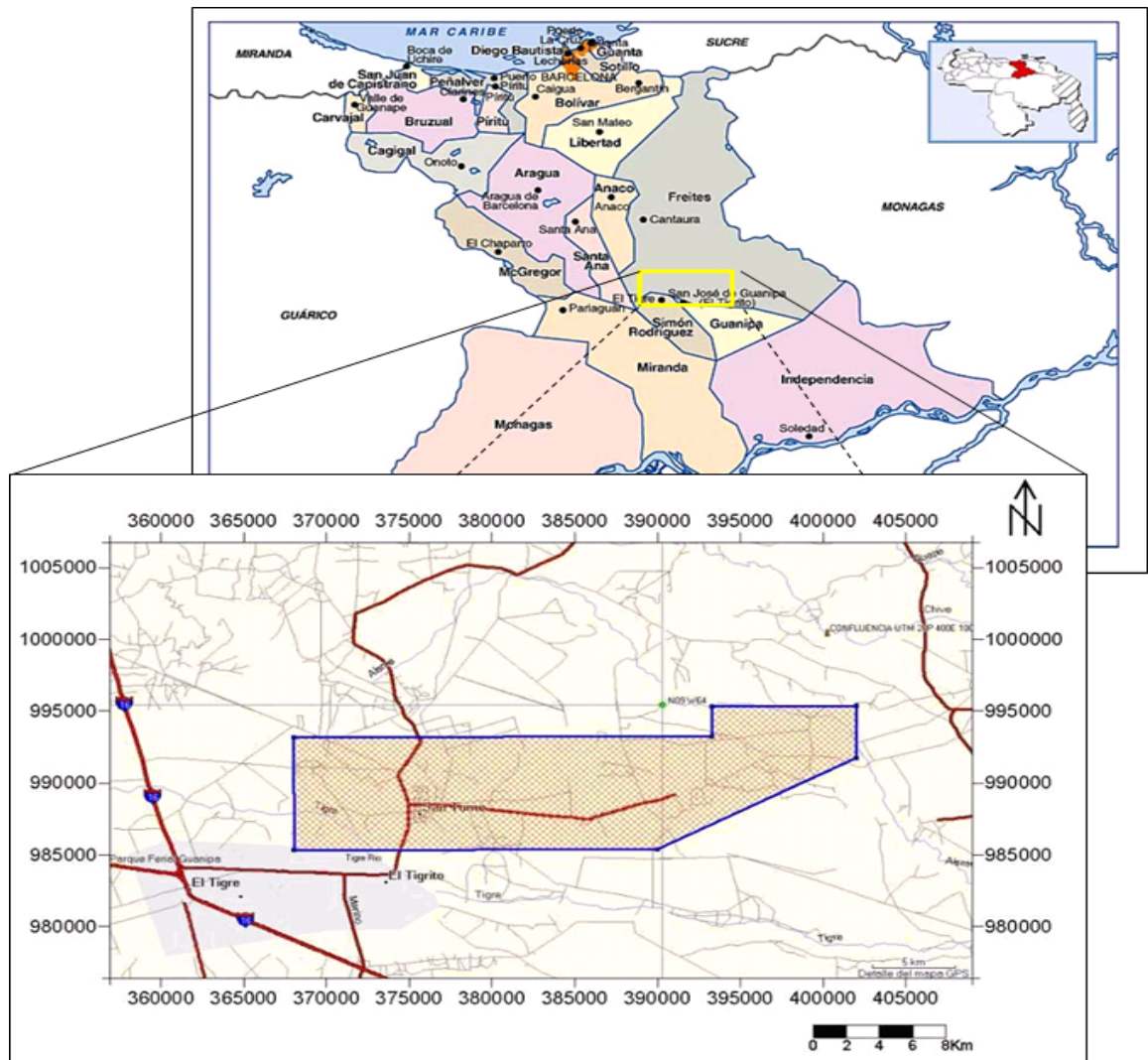


Figura 1.1: Mapa de ubicación del campo Guara Este.

El área del levantamiento sísmico GUARA ESTE 06G-3D (figura 1.1), presenta una extensión aproximada de 200 km², fue registrado durante el lapso comprendido entre diciembre 2007 y febrero 2008 por la empresa SueloPetro, en el marco del contrato de adquisición de datos sísmicos suscrito entre dicha empresa y PDVSA.

CAPÍTULO II

2.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1.- Tectónica del Caribe

A continuación se presenta una breve descripción de la zona de interacción Caribe – Suramérica por ser éste el ámbito regional en el que se originó la Cuenca Oriental de Venezuela en cuyo flanco sur se ubica el área de estudio.

La región del Caribe posee un complicado dominio tectónico y estratigráfico donde se observa una amplia variedad de estilos estructurales y estratigráfico; ya sea de edad, espesor de rocas, metamorfismo, sismicidad, etc., asociados a la dinámica de las distintas placas que interactúan en esta zona. La Placa Caribe se encuentra ubicada entre las Placas de Norteamérica, Pacífico y Suramericana, se mueve en dirección Este, a una tasa de 2-4 cm por año, con relación a las Placas de Norteamérica y Suramérica (Mann et al., 1990; Pindell y Barrett, 1990; Pindell, 1994).

Sobre la Placa del Caribe se han tratado una gran variedad de modelos acerca de su origen. Meschede y Frish (1998) sugieren que es el resultado de la expansión de las Placas Norteamérica y Suramérica y la migración de esta última hacia el sueste (modelo Atlántico). Otros autores proponen que dicha placa es un fragmento de placa oceánica del Pacífico trasladado hacia el este por el Gran Arco del Caribe (modelo Móvil) (Pindell y Dewey, 1982; Pindell y Barret, op cit; Pindell, op cit).

2.1.1.-LÍMITE DE LAS PLACAS DEL CARIBE Y SURAMERICANA

Según Pindell y Barret (1990), el límite sur de la Placa del Caribe representa una zona de cizalla de 300 y 500 Km de ancho orientada en sentido oeste-este, que abarca desde la Península de la Guajira en Venezuela, hasta la zona costa afuera en la Isla de Trinidad. Es una zona compleja de corrimientos, movimientos transcurrentes y de apertura (rifting) desarrolladas en el Cenozoico.

En Venezuela, el límite de las Placas Caribe- Suramericana es relativamente joven, de edad Eoceno y consiste en una serie de cinturones tectónicos de orientación oeste-este, entre los que se destacan: el cinturón deformado del Caribe Sur, el Arco volcánico de las Antillas de Sotavento, el Sistema Montañoso del Caribe y el cinturón plegado de la Serranía del Interior. En conjunto es una zona de convergencia oblicua o de transpresión, resultante del movimiento relativo entre ambas placas.

Según Pindell (1988) y Ostos (1990), en la evolución tectónica del Caribe basada en el modelo Pacífico, se puede distinguir las principales etapas que rigen la historia geológica de las estructuras que se encuentran en el subsuelo de Venezuela (Figura 2.1). Durante dicha evolución se reconocen las siguientes etapas:

Jurásico medio a tardío

Durante este periodo se forma el margen Norte de Suramérica como consecuencia del proceso de apertura continental que se produjo al separarse las placas de Norteamérica y Suramérica. En esta etapa se formó el Graben de Espino, el cual se considera como un “rift” abortado en el Jurásico tardío (Feo Codecido et al., 1984). Al mismo tiempo el centro de apertura del Proto-Caribe es desplazado a lo largo de fallas transformantes, las cuales pueden ser representadas como extensiones mucho más jóvenes de las fallas de El Baúl y Urica en Venezuela.

Jurásico tardío a Cretácico Tardío

En esta etapa el borde Norte de Suramérica se comporta como un margen pasivo. La placa del Caribe cambió su dirección de migración de Sureste a Noreste en el Barremiense- Aptiense.

Cretácico tardío a Reciente

Se caracteriza por la transgresión que ocurre al cesar la separación entre Norteamérica y Suramérica. Alrededor del Caribe empiezan a generarse

levantamientos a causa de la orogénesis que provoca la interacción entre la Placa del Caribe y el Proto-Caribe. La cordillera intra-oceánica entre el Norte y el Sur de América se extinguió en el Santoniense-Campaniense, etapa en la cual también la placa del Proto-Caribe alcanza su máxima extensión (Pindell et al., 1988; Ross y Scotese, 1988), El Caribe migra hacia el Noreste debido a la colisión entre el Sur del sistema del arco de islas del Caribe y el bloque de Sebastopol.

Eoceno a Reciente

En el margen septentrional de Venezuela se presenta un intenso tectonismo a causa del incremento de la compresión, en dirección Noroeste a Sureste, en el Norte de América del Sur, debido a que el movimiento relativo de Suramérica con respecto a Norteamérica cambió a convergente (Figura 2.1b). Al mismo tiempo la placa del Caribe se movió hacia el Este debido a la colisión entre las Antillas y las Bahamas, lo que ocasionó una rotación en sentido de las agujas del reloj del terreno transpresional de Venezuela.

Oligoceno a Reciente

El terreno transpresional continúa su movimiento hacia el Oriente a través de la zona de fallas transcurrentes generadas por la migración de la placa del Caribe.

Mioceno a Reciente

La convergencia entre Norteamérica y Suramérica caracteriza a este periodo por deformaciones a lo largo de todo el Caribe (figura 2.1c y 2.1d).

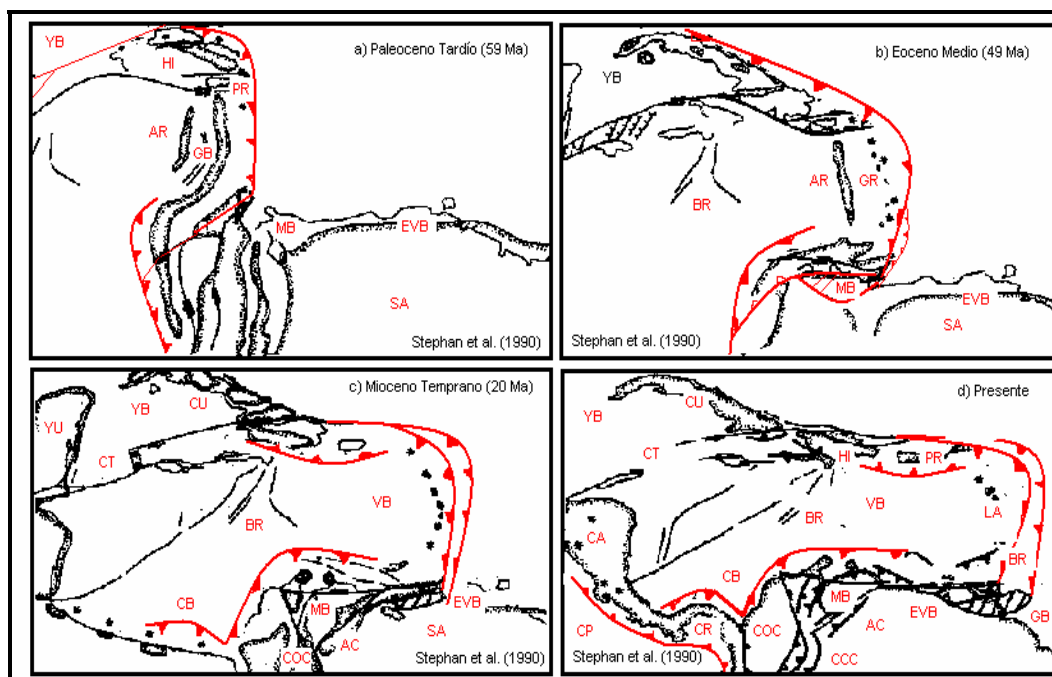


Figura 2.1: Cuatro estados del desarrollo del límite de la placa Caribe desde el Eoceno hasta el presente, asociado con la migración de la Placa Caribe hacia el Este. Abreviaturas: AC= Cordillera Andina; AR= Alto de Aves; BR= Alto de Barbados; CA= América Central; CB= Cuenca Colombiana; CCC= Cordillera Central Colombiana; CP= Placa de Cocos; CT= Fosa Caimán; CU= Cuba; GB= Cuenca de Granada; GYB= Cuenca de Guyana; LA= Antillas Menores; MB= Cuenca de Maracaibo; NP= Placa de Nazca; OCC= Cordillera Occidental Colombiana; SA= Sur América; YB= Cuenca de Yucatan (Tomado de Di Croce et. al., 1999).

2.1.2.- Estratigrafía regional

Para Parnaud et al. (1995), la dinámica y evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela durante el tiempo geológico, quedó evidenciado por la presencia de cuatro megasecuencias limitadas por discordancias, a saber:

Megasecuencia Pre-“Rift”

Esta megasecuencia se desarrolló durante el Paleozoico y se asocia con las formaciones Carrizal y Hato Viejo en la subcuenca de Guárico, la cual fue depositada en ambientes costeros a neríticos. La secuencia corresponde principalmente a areniscas de granulometría fina y mal escogidas, las cuales son ligeramente calcáreas

y están intercaladas con conglomerados y lutitas verdes. El espesor aproximado de dicha secuencia es de 3000 a 5000 m (Parnaud et al., 1995).

Megasecuencia “Rift”

Esta megasecuencia se desarrolló desde el Jurásico Tardío al Cretácico Temprano y ha sido descrita como la Formación Ipire en el Graben de Espino, la cual se depositó en un ambiente continental y se caracteriza principalmente por lutitas rojas intercaladas con mantos de basalto y tiene un espesor aproximado de 3600 m (L.E.V., 1997).

La apertura del Atlántico sur produce una invasión del mar durante el Barremiense, cuyo reflejo es el inicio de la transgresión cretácica sobre el borde continental (González de Juana et al., 1980).

Megasecuencia de Margen Pasivo

La megasecuencia de margen pasivo cubre el período Cretácico-Paleógeno y se caracteriza por tres fases transgresivas principales, las cuales se desarrollan de norte a sur y culminan durante el Turoniense, Paleoceno Temprano y Oligoceno respectivamente. Estos eventos corresponden a cambios eustáticos del nivel del mar (Vail et al., 1977).

Megasecuencia de la Colisión Oblicua

La megasecuencia de margen pasivo termina en el Oligoceno cuando ocurre la colisión entre la Placa del Caribe contra la Placa Sur Americana y la depresión se transforma en una cuenca tipo “foreland” o antepaís. La colisión oblicua migraba progresivamente hacia el este durante el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano (Parnaud et al., 1995).

2.- MARCO TECTÓNICO LOCAL

2.1.-Evolución Tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela

Según Aymard (1990) y Di Croce et al. (1999), la historia estratigráfica de la cuenca tiene una evolución tectónica enmarcada en cuatro etapas principales de evolución (figura 2.2): Rifting durante el Triásico-Jurásico, Margen Pasivo durante el Cretáceo-Paleoceno y Transcurrencia, Compresión, Transgresión y Desarrollo de Cuenas Antepaís entre el Paleoceno-Cuaternario, donde en la parte central de la Cuenca Oriental, sólo pueden ser reconocidos en pozos y afloramientos los dos últimos episodios de esta evolución geodinámica y a partir de la interpretación de la datos sísmicos en la cuenca de Trinidad y en la subcuenca de Guárico (Parnaud et al., 1995).

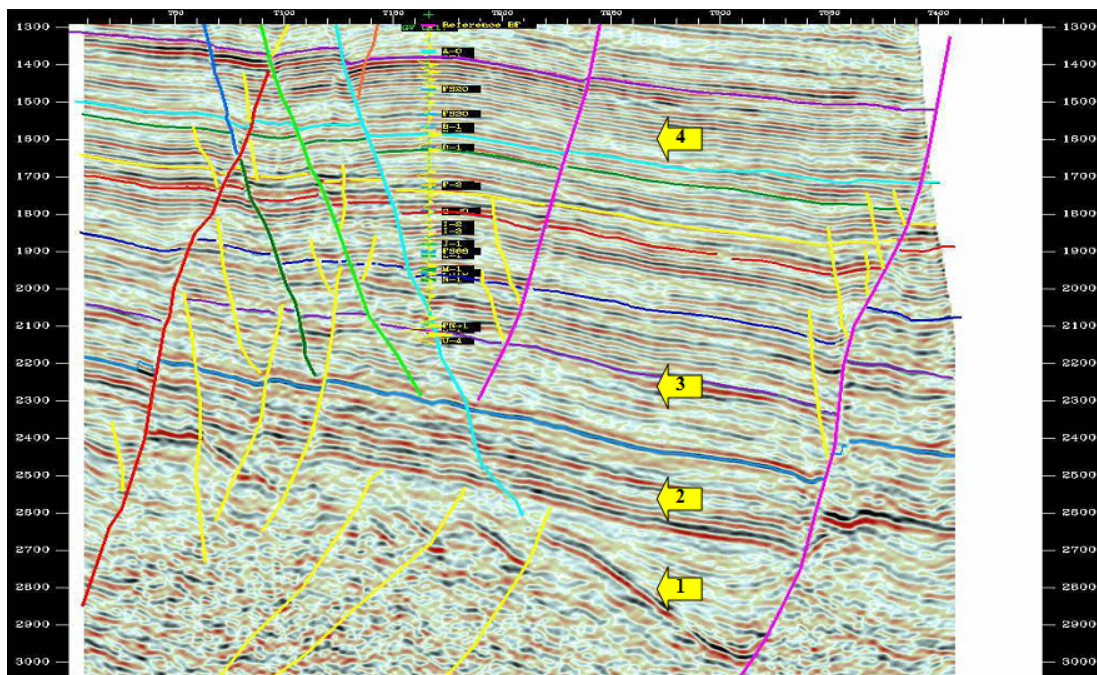


Figura 2.2: Sección Sísmica Norte-Sur del Área Mayor de Oficina, mostrando las diferentes etapas de la Evolución Geodinámica de la Cuenca Oriental. 1.Fase de "Pre-rifting" (Paleozoico). 2.Fase de "rifting" (Jurásico-Cretácico inferior). 3. Fase de "Margen Pasivo" (Cretácico-Paleógeno). 4. Fase de Cuenca Antepaís. (Tomado y modificado de Ruiz, 2007)

“Rifting” o apertura continental

La apertura continental que afectó la configuración del norte de América del Sur fue consecuencia de la apertura diacrónica del Atlántico Norte central, cuando Norteamérica se separó de Gondwana (Pindell y Dewey, 1982). Con base en estudios sedimentológicos realizados se ha indicado que la apertura en el este de Venezuela fue al menos pre-Barremiense. Las capas rojas que distinguen los depósitos del Triásico-Jurásico se observan en Colombia, al Noroeste de Venezuela y se presentan con intercalaciones de basaltos del Jurásico Tardío en el Graben de Espino en la Cuenca Oriental de Venezuela (González de Juana et al., 1980).

Margen pasivo

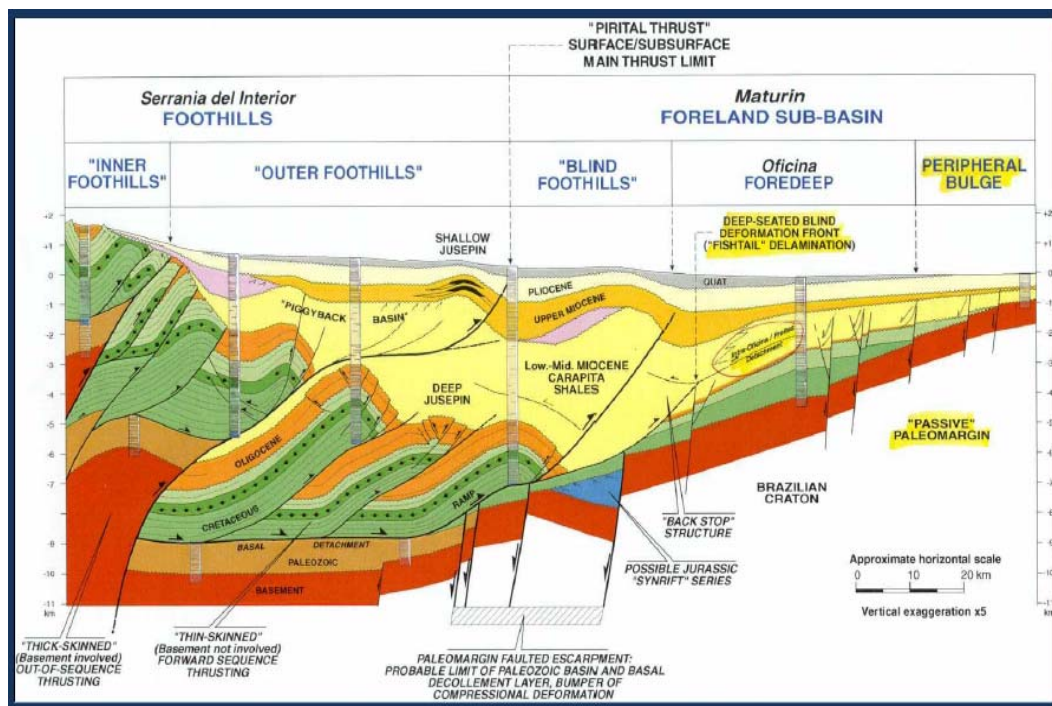
Comprendida desde el final del “rifting” apertura continental durante el Jurásico tardío y Cretácico temprano, para dar paso a una sedimentación de clásticos marinos que fueron depositados a lo largo de la margen continental formado en el Norte de Suramérica (Erlich y Barret, 1992). Esta etapa se caracterizó por tres transgresiones que se desarrollaron de norte a sur y que culminó en el Turoniense, Paleoceno-Eoceno Temprano y el Oligoceno. La transgresión inicial está marcada por los clásticos depositados en el área durante el Neocomiense con areniscas continentales-fluviales-deltaicas y lutitas de la Formación Barranquín, Querecual y San Antonio (Hedberg, 1950; González de Juana et al., 1980). La segunda transgresión está caracterizada por la presencia de facies de abanicos submarinos de la Formación San Juan. Los clásticos marino-costeros del Grupo Temblador, depositados durante el Aptiense-Santoniense, conforman las rocas sedimentarias preservadas en la Subcuenca de Guárico (Erlich y Barret, 1992). La tercera transgresión generó las areniscas basales de la Formación Merecure de edad Oligoceno.

Cuenca “foreland” o antepaís

La geodinámica regional ha estado dominada por la transgresión (colisión oblicua) entre la Placa del Caribe y la de Sur América. Sin embargo, desde el Eoceno hasta el presente, la Placa del Caribe ha migrado hacia el este, por lo cual ha causado diacronismo en la tectónica y sedimentación a lo largo de todo el borde norte de Venezuela (Stephan et al., 1985; Passalacqua et al., 1995). Según Erlich y Barret (1990), el proceso de compresión en el este de Venezuela comenzó en el Oligoceno medio, provocando que la fase de margen pasiva terminara diacrónicamente a lo largo del margen norte de Suramérica, siendo la primera evidencia estratigráfica de ello la erosión de la sección del Paleoceno tardío-Eoceno Temprano, consecuencia de la colisión y emplazamiento de la Cordillera de la Costa/Villa de Cura sobre el margen pasivo suramericano. El proceso de deformación aún continúa como consecuencia del movimiento relativo hacia el este de la Placa del Caribe con respecto a Suramérica.

2.2.-Subcuenca de Maturín

La subcuenca de Maturín es una gran depresión asimétrica, con un ligero buzamiento hacia el norte donde se hace más tectonizada y con mayores buzamientos, conectada a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte (Gonzáles de Juana et al. 1980). Constituye la principal unidad petrolífera de la Cuenca Oriental, y de acuerdo a su configuración estructural se divide en tres provincias tectónicas principales: una provincia compresional, al norte, en la Serranía del Interior; el frente de deformación en el piedemonte y una provincia extensional, al sur (Aymard et al., 1990) (Figura 2.3).



estructura triangular ocurre detrás del frente de deformación, a lo largo del alto de Pirital, los pliegues cilíndricos de escala kilométrica, asociados al corrimiento con tendencia N60° - 70°E que se encuentran principalmente en la rampa anticlinal, tal como en el área de El Furrial, y las fallas transcurrentes dextrales con una dirección de N50°- 60°O (Urica, San Francisco y Los Bajos), que separan la Serranía del Interior en áreas de evolución estructural diacrónica. En la figura 2.4 se señalan las provincias tectónicas de la Cuenca Oriental de Venezuela y los rasgos estructurales más notables.

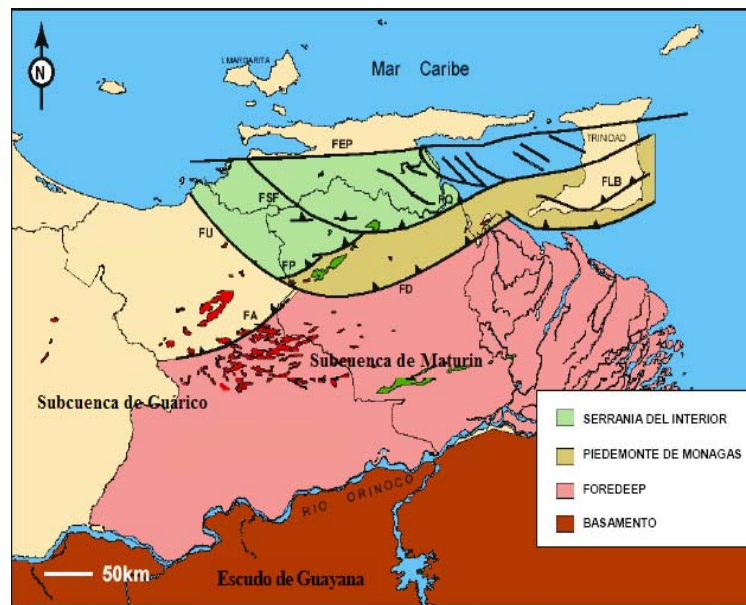


Figura 2.4: Principales elementos estructurales de la Cuenca Oriental de Venezuela. Abreviaturas: FEP= Falla El Pilar; FSF= Falla San Francisco; FP= Falla Pirital; FU= Falla de Urica; FLB= Falla Los Bajos; FD= Frente de deformación (Tomado de Hung, 1997).

2.3.-Estructura local

El flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela representa una provincia tectónica extensional, con fallamiento normal asociado y buzamiento en la sección sedimentaria hacia el noreste, el cual aumenta de manera gradual hacia el eje de la cuenca (González de Juana, et al. 1980). Constituye el margen meridional, la zona de plataforma del foreland (foredeep) identificado en la cuenca. Sobre esta plataforma se encuentra el Área Mayor de Oficina (figura 2.5).

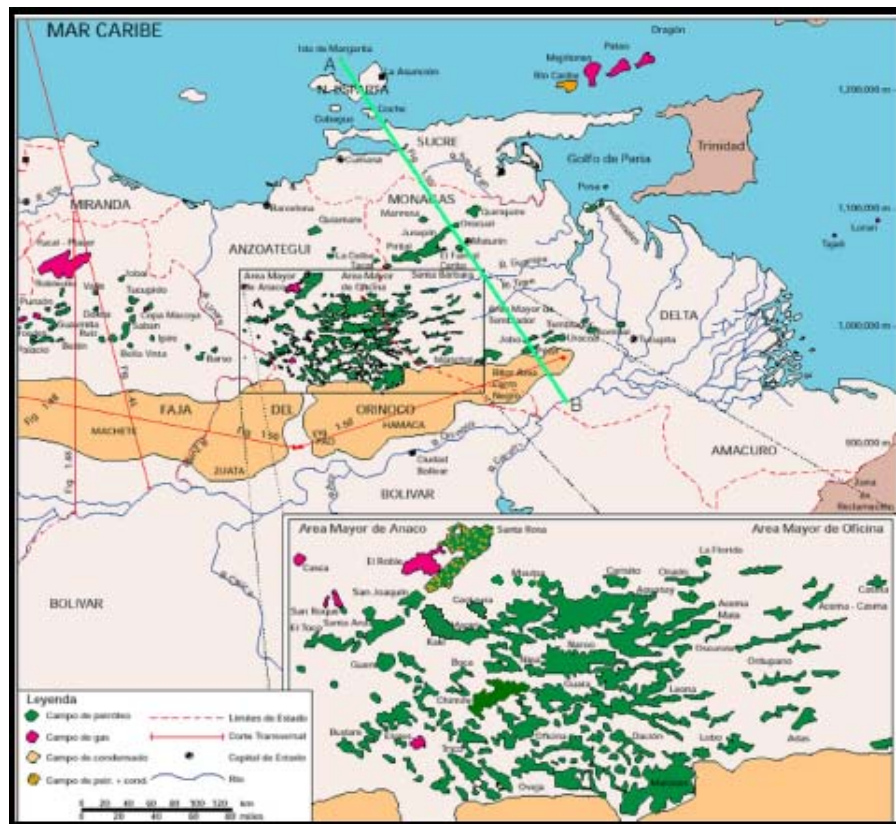


Figura 2.5: Ubicación del Área Mayor de Oficina (Tomado de WEC, 1997).

El Área Mayor de Oficina no muestra mayor deformación, su buzamiento regional es de 2 a 4° y se encuentra interrumpido por un complejo de fallas normales discontinuas, las cuales representan geometrías planas y generalmente buzcan 45° al norte.

En el área se evidencian tres familias de fallas, las cuales poseen una orientación preferencial NE-SO, NO-SE y O-E. El primer sistema de fallas es paralelo al eje sur de la cuenca y refleja el levantamiento flexural del basamento, mientras que el segundo es el esfuerzo extensional resultante del movimiento de rumbo dextral, a lo largo del límite de las placas Caribe y Suramérica. Todos los sistemas controlan el entrapamiento de hidrocarburos en la zona (Figura 2.6).

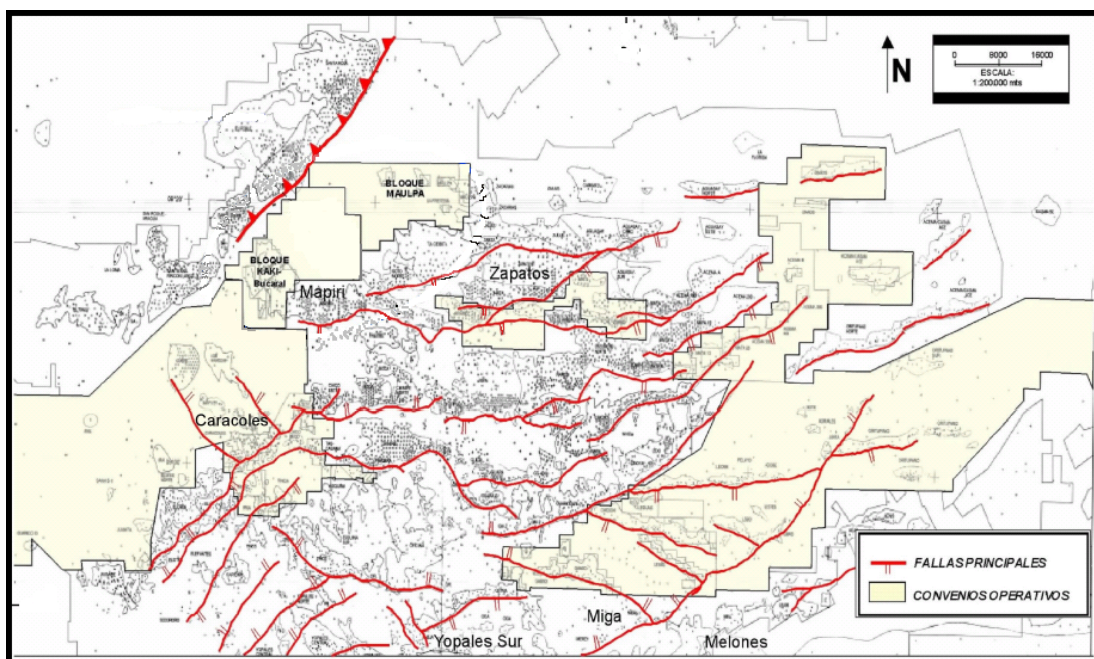


Figura 2.6: Principales Fallas en el Área Mayor de Oficina

Según Porras (2003), las fallas pueden ser antitéticas o sintéticas respecto a la pendiente o buzamiento regional, son de carácter sin-sedimentario y afectan casi toda la columna estratigráfica incluyendo basamento. Su origen se postula como desarrollo del levantamiento flexural del basamento durante el Oligoceno – Mioceno, cuando ocurrió el desplazamiento de la cuenca del oeste hacia el este (Erlich y Barret, 1992).

Las fallas del sistema NO-SE pueden indistintamente buzarse al norte o al sur. Es un sistema de fallas oblicuas derivadas de fallas principales o bien interceptarlas. Su origen se asocia a la reactivación de los esfuerzos en dirección sur del límite de placas (Erlich y Barret, 1992).

Según Hedberg et al. (1945), el sistema de fallas oeste-este posee buzamiento antitético o sintético cuyo ángulo promedio es de 45°. Su origen se debe al flexuramiento de la cuenca y pueden ser trazadas a lo largo de grandes extensiones. Son producto del crecimiento de fallas superpuestas conectadas a través del sistema de rampas con patrones “dogleg” típico en fallamiento normal.

formaciones Mesa, Las Piedras, Freites, Oficina, Merecure, el Grupo Temblador (Fms. Tigre y Canoa) y Basamento (Figura 2.8).

Edad		Fornación
Cenozoico	Cuat.	Mesa
	Pleis.	
	Plio.	Las Piedras
	Mioceno	Freites
		Oficina
Mesozoica	Oligoceno	Merecure
	Cretacico	Grupo Temblador
	Pre-€	Basamento

Figura 2.8: Columna estratigráfica generalizada del Área Mayor de Oficina

2.4.1.- Formaciones Geológicas

A continuación se realiza la descripción detallada de tope a base de la secuencia estratigráfica que se encuentra en el subsuelo del Campo Guara Este.

Formación Mesa (Plioceno - Pleistoceno)

Esta unidad consiste en arenas de grano grueso y gravas muy duras con cemento ferruginoso. Los conglomerados son rojos a negros, las arenas blanco-amarillenta, rojo y púrpura que presentan estratificación cruzada y lentes discontinuos

de arcilla y limo (González de Juana et al., 1980). El espesor de la Formación Mesa es muy variable, pero en términos generales disminuye de norte a sur, como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio-deltáica y aumenta de oeste a este, por el avance de los sedimentos deltáicos (González de Juana et al.1980). Según PDVSA - INTEVEP (1997) en la mesa de Maturín, la Formación Mesa tiene un espesor máximo de 275 m, mientras que en el estado Bolívar rara vez llega a los 20 m., y de igual manera indica como esta Formación suprayace en contacto concordante y a la Formación Las Piedras. La sedimentación de la Formación Mesa es del tipo fluvio-deltáica y paludal con desarrollo de abanicos aluviales y la existencia de ciénagas, incluso los depósitos de esta unidad pueden ser del tipo torrenciales y aluviales. El contacto con la Formación Las Piedras es concordante y transicional (González de Juana et al., op cit.).

Formación Las Piedras (Mioceno Tardío – Plioceno).

La sección tipo se encuentra en el Pozo Las Piedras N° 1. Presenta areniscas gris claro a gris verdoso, micáceas, friables y de grano fino; éstas se encuentran interlaminadas con lutitas gris-verdoso, arcilitas sideríticas grises y lignitos (González de Juana et al., 1980). Esta formación tiene 1005 m de espesor, el cual aumenta hacia el eje de la cuenca de Maturín, hasta un máximo probable de 1370 m. Hacia los flancos de la cuenca, el espesor disminuye aproximadamente a la mitad. En cuanto a los miembros Prespantal y Caicaito, sus espesores en el área tipo San Mateo-Cantaura, son de 457 y 305 m, respectivamente; y tal unidad se desarrolla en condiciones de aguas dulces a salobres, posiblemente en ambientes deltáicos a marino somero. En este sentido, en el flanco sur de la cuenca yace concordantemente sobre la Formación Freites, pero en general se trata de fijar el contacto donde aparezcan las primeras capas de ambiente marino de la Formación Freites (PDVSA-INTEVEP, 1997).

Formación Freites (Mioceno Medio – Tardío).

Está descrita en los pozos del campo Oficina en el distrito Freites, la misma consiste en lutitas fisiles gris verdoso con areniscas arcillosas, blanco verdosas y de grano fino en el tope e intercalaciones de lutitas y areniscas verde-amarillentas y de grano medio a grueso en la base de la formación (PDVSA-INTEVEP, 1997). Se estiman espesores de 335 m a 610 m desde el campo Yopales hacia los campos de Guara Oeste, Nipa y Leona Norte. En la carretera de Aragua de Barcelona se reporta un espesor de 792 m y en el área Cerro Negro, la formación se reduce desde 550 m en el norte a 73 m en el sur. La Formación Freites suprayace concordantemente a la Formación Oficina en casi toda su extensión; hacia el tope, la Formación es concordante con la Formación Las Piedras suprayacente.

Sin embargo, la sedimentación ocurre en ambientes marino someros que pasa a condiciones más profundas en la parte media y aguas llanas, nuevamente, en el tope de la unidad; así las lutitas y arcillas de esta formación constituyen el sello principal de los reservorios petrolíferos de la Formación Oficina en el área Mayor de Oficina, y contienen, en la parte inferior, arenas productoras de hidrocarburos en algunos campos de la parte media y sur de esa área (PDVSA - INTEVEP, op. cit.).

Formación Oficina (Mioceno Temprano – Medio).

En PDVSA-INTEVEP (1997) se describe esta formación, que se caracteriza por una alternancia de lutitas gris a gris oscuro y gris marrón que se encuentran intercaladas e interestratificadas con areniscas y limolitas de color claro de grano fino a grueso. Esta misma unidad presenta capas de lignito y lutitas ligníticas, arcilitas verde y gris claro, areniscas siderítico-glauconíticas y calizas delgadas con estructuras cono en cono, estas últimas características litológicas se presentan como componentes menores de la Formación, sin embargo, su ocurrencia es muy importante. El espesor de la Formación Oficina varía de 2000 a 4000 pies y en los campos de Anaco varía entre 7.800 y 10.600 pies. Según González de Juana et al. (1980), el espesor de la Formación Oficina aumenta desde los bordes de la cuenca

hacia su eje: 220-275 m en Temblador, más de 1400 m en el área mayor de Oficina, más de 2000 m en Anaco y unos 1000 m en Anzoátegui nororiental.

El contacto inferior de la formación está definido como discordante sobre unidades cretácicas o más antiguas, y también concordante sobre la Formación Merecure (PDVSA-INTEVEP, 1997). El contacto superior de la Formación Oficina con la Formación Freitas ha sido definido como concordante, por la mayoría de los autores. La Formación Oficina pasa lateralmente a la Formación Carapita y a la parte media y superior de la Formación Chaguaramas (González de Juana et al., 1980).

De acuerdo con PDVSA-INTEVEP (1997) la sedimentación de la Formación Oficina se inicia en condiciones de aguas dulces o salobres, continuando con repetidas alternancias de ambientes marinos someros, salobres y pantanosos; en general, las condiciones se hacen más marinas de oeste a este y de sur a norte. González de Juana et al. (1980) consideran que la Formación Oficina se sedimentó en un inmenso complejo fluvio-deltaico, donde son comunes las arenas lenticulares y de relleno de canales de ríos.

La Formación Oficina comprende, junto con la Formación Merecure, a las principales unidades productoras de hidrocarburos en la cuenca Oriental (PDVSA-INTEVEP, 1997)..

Formación Merecure (Oligoceno – Mioceno Temprano).

Conforme con PDVSA-INTEVEP (1997) esta unidad fue descrita en el Campo Santa Ana en la región de Anaco y se encuentra conformada por más del 50 % de areniscas gris claro a oscuras, masivas, lenticulares, duras, presentan una mala estratificación, algunas veces del tipo cruzada, poseen granos finos a gruesos. Las arenas están separadas por láminas o intervalos delgados de lutitas gris oscuro a negro, carbonáceas, algunas arcilitas ferruginosas y lignitos. La formación se adelgaza hacia el sur hasta acunarse, por debajo de la Formación Oficina, en los límites sur del área mayor de Oficina y se han mencionado espesores máximos de 520

m, señalando un espesor total en el campo Toco (PDVSA-INTEVEP, 1997). Las características litológicas indican que la sedimentación de esta unidad se desarrolla en un sistema fluvio-deltaico; sin embargo, la presencia de canales que coalescen indican que Merecure se encuentra en la zona más continental del delta y está dominado por corrientes fluviales entrelazadas. Por otro lado, el contacto superior con la Formación Oficina es de aparente concordancia, pese al marcado cambio litológico a ese nivel.

Por consideraciones regionales, se presume que tanto el tope como la base de la Formación Merecure, se hacen más jóvenes hacia el sur y reflejan el avance del mar de Oficina en esa dirección (PDVSA-INTEVEP, 1997). Igualmente, según con PDVSA-INTEVEP op cit. (1997) se interpreta un ambiente variable de lagunas y aguas salobres a francamente marinas, donde el ambiente es típico de clásticos basales transgresivos depositados por corrientes fluviales entrelazadas y, en posición más distal, por condiciones deltaicas.

Formación Canoa (Aptiense – Albiense).

Se describe como una intercalación de conglomerados de grano fino, areniscas, limonitas blanquecinas y arcilitas gris azulada que presentan manchas grises a gris verdoso, amarillo y marrón con restos de plantas (Soto et al., 2003; citado en González y Vásquez, 2003). Se sugiere una depositación en ambientes continentales por la presencia de conglomerados y restos de plantas, posiblemente fluvial del tipo barra de meandro (PDVSA-INTEVEP, 1997). El contacto inferior es marcadamente discordante sobre una superficie conformada por rocas ígneas y metamórficas del basamento, o con las formaciones Hato Viejo y Carrizal; su contacto superior es transicional (PDVSA-INTEVEP, op. cit.).

Según González de Juana et al. (1980), varía de cero a varios cientos de metros. En la sección tipo tiene 100 m de espesor. En el campo Faja del Orinoco (área Machete), tiene un promedio 90 m; la unidad se adelgaza hasta desaparecer al

sur, hacia el Escudo de Guayana, así como hacia el área de Hamaca (PDVSA-INTEVEP, 1997)

Formación Tigre (Cenomaniense – Campaniense).

La formación es una secuencia variable de areniscas y limolitas que se encuentran irregularmente estratificadas, son de grano fino, glauconíticas, gris a gris verdoso; con areniscas gruesas friables y espesas, limonitas gris a gris verdoso y lutitas carbonosas y fosfáticas. También se observan capas blanquecinas y delgadas de calizas dolomíticas y dolomías que se presentan glauconíticas y frecuentemente fosilíferas (Soto et al., 2003).

Según PDVSA-INTEVEP (1997) el contacto inferior de esta Formación está definido como diacrónico y transicional sobre los sedimentos continentales de la Formación Canoa, ahora bien, su contacto superior es discordante por debajo de las formaciones La Pascua o Merecure. Esta formación tiene un espesor en la sección tipo de 92,7 m, en el área de Macaira- Uveral, tiene un espesor promedio de 346,5 m; hacia el área de Machete el promedio de espesor es de 170 m y desaparece por erosión el este del área de Hamaca, así como hacia el Escudo de Guayana. Mientras que en esta unidad se indica un ambiente de plataforma, el cual al parecer varía hacia arriba desde plataforma exterior hasta talud, esto de acuerdo con PDVSA-INTEVEP (op. cit.).

Formación Carrizal Y Hato Viejo (Paleozoico/ Jurásico).

Las rocas pre-cretácicas no han sido diferenciadas en el área, sin embargo, hacia el suroeste del Anzoátegui en el área de Boyacá (anteriormente Zuata), se han perforado rocas de edad Devónico Superior a Carbonífero Inferior, las cuales han sido designadas con los nombres de Formación Carrizal y Formación Hato Viejo.

La Formación Carrizal se caracteriza por tener espesas secuencias de arcilitas verdosas a gris oscuro, duras, compactas, masivas y densas, posee algunas capas de

limolita y areniscas. (Soto et al., 2003). Esta formación fue depositada en condiciones de ambiente marino (nerítico), en aguas someras y condiciones de corriente típicas de llanuras de marea, lo cual se evidencia en las estructuras sedimentarias (PDVSA-INTEVEP, 1997).

El ambiente de sedimentación de la formación Hato Viejo, por sus características, es continental, y sus sedimentos son de relleno de cuenca (facies fluvial y/o piedemonte) de una fase erosiva, contemporánea o subsiguiente a un período de intensa actividad tectónica (PDVSA- INTEVEP, 2004). En tanto que su litología abarca esencialmente areniscas de grano fino a grueso, colores gris-rosado a gris oscuro, duras, macizas y friables; los granos son redondeados y muy bien cementados (Soto et al., 2003).

Basamento.

El basamento precámbrico afora al sur, en el Escudo de Guayana y consiste principalmente en rocas meta-ígneas y meta-sedimentarias cuyas facies metamórficas varían de anfíbolitas a granulitas. En el subsuelo buza suavemente al nor-noreste, hasta profundizarse por debajo del cinturón plegado de la Serranía del Interior.

Según Porras (2003), sobre el basamento yacen discordantemente sedimentos de margen pasivo, lo cual es fácilmente detectable por perfiles eléctricos, donde existen aumentos bruscos en la resistividad y bajos valores de potencial espontáneo en los registros de pozos realizados en el área. La continuidad de él puede estar afectada por fallamiento normal de buzamiento variable, de presumible edad jurásica y relacionada a la fase de apertura que sufrió la cuenca (Azalgara et al., 2000).

González de Juana et al. (1980) postulan que el basamento posee discontinuidades e irregularidades que representan escarpes de fallas de un paleorelieve remanente, y constituye una superficie de erosión y meteorización sobre

el cual se depositaron sedimentos cretácicos. Dichas estructuras han sido interpretadas como altos del basamento e identificadas a lo largo de la zona.

CAPÍTULO III

3.1.- SECUENCIA DE TRABAJO

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el presente estudio, la secuencia de trabajo se inició primeramente con una etapa de recopilación bibliográfica relacionada con los trabajos previos realizados en la zona de estudio, rasgos estratigráficos, tectónicos, estructurales y toda la información geológica y geofísica disponible, tanto a nivel regional como local.

Luego se realizó una revisión de los datos gravimétricos y magnéticos con el fin de verificar la calidad de los mismos. Se hizo especial énfasis en el análisis estadístico de los datos gravimétricos y magnéticos, para conocer la distribución de sus poblaciones, así como distinguir las mediciones anómalas que pudieron interferir con la calidad de los resultados.

Posteriormente se generaron los mapas de anomalías gravimétricas y magnéticas, junto con sus respectivas superficies de tendencias regionales y residuales y mapas de continuación analítica ascendente, con el fin de conocer la ubicación y orientación de las anomalías más sobresalientes, así como su relación con estructuras someras o profundas. De igual modo, se consideró necesaria la aplicación de métodos de estimación de profundidades como son el análisis espectral y la deconvolución de Euler, a fin de utilizarlas para el ajuste de los modelos finales.

Como etapa final se generó el modelo estructural del subsuelo, a partir de la integración de la información estructural, geológica y geofísica disponible, mediante el módulo GM-SYS del programa Oasis Montaj™. Las etapas mencionadas anteriormente se presentan resumidas en el flujograma de la figura 3.1.

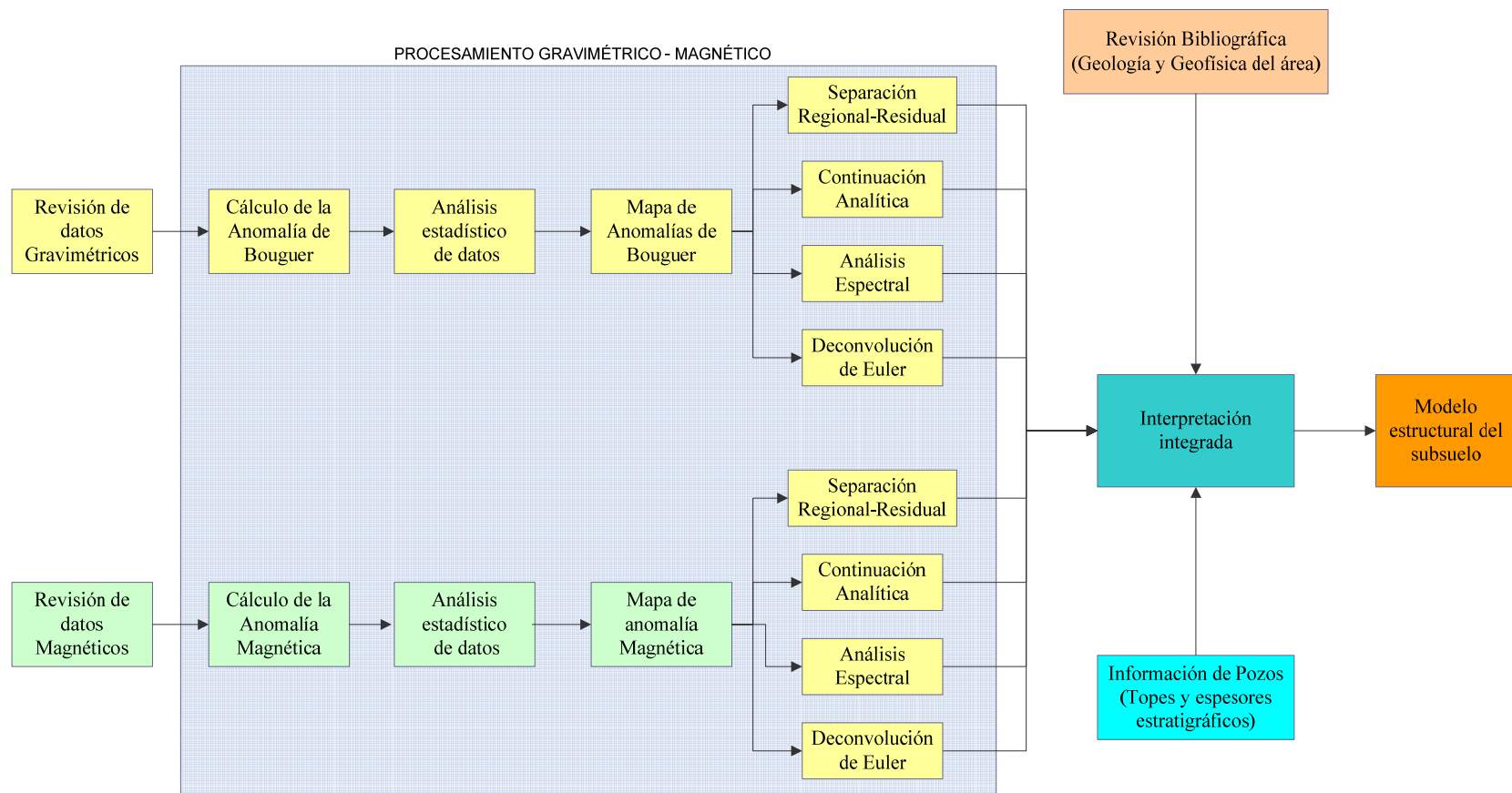


Figura 3.1: Flujograma de la secuencia de trabajo

3.2.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

3.2.1.- Mapa geológico y estructural

La información geológica estructural se tomó a partir del mapa geológico de Venezuela digitalizado a escala 1:500000 del Ministerio de Energía e Hidrocarburos (Figura 3.2) y el mapa de interpretación aeromagnética de Meneven a escala 1:500000 (Figura 3.3).

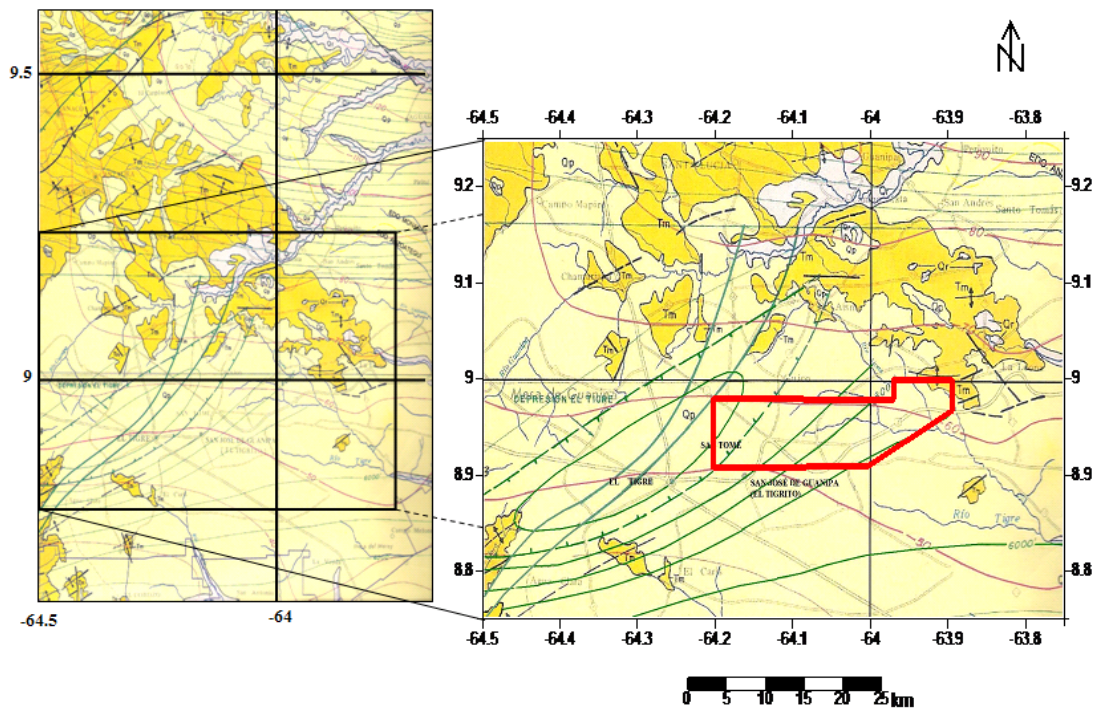


Figura 3.2: Mapa geológico del Área Mayor de Oficina (tomado y modificado de Ministerio de Energía y Minas).

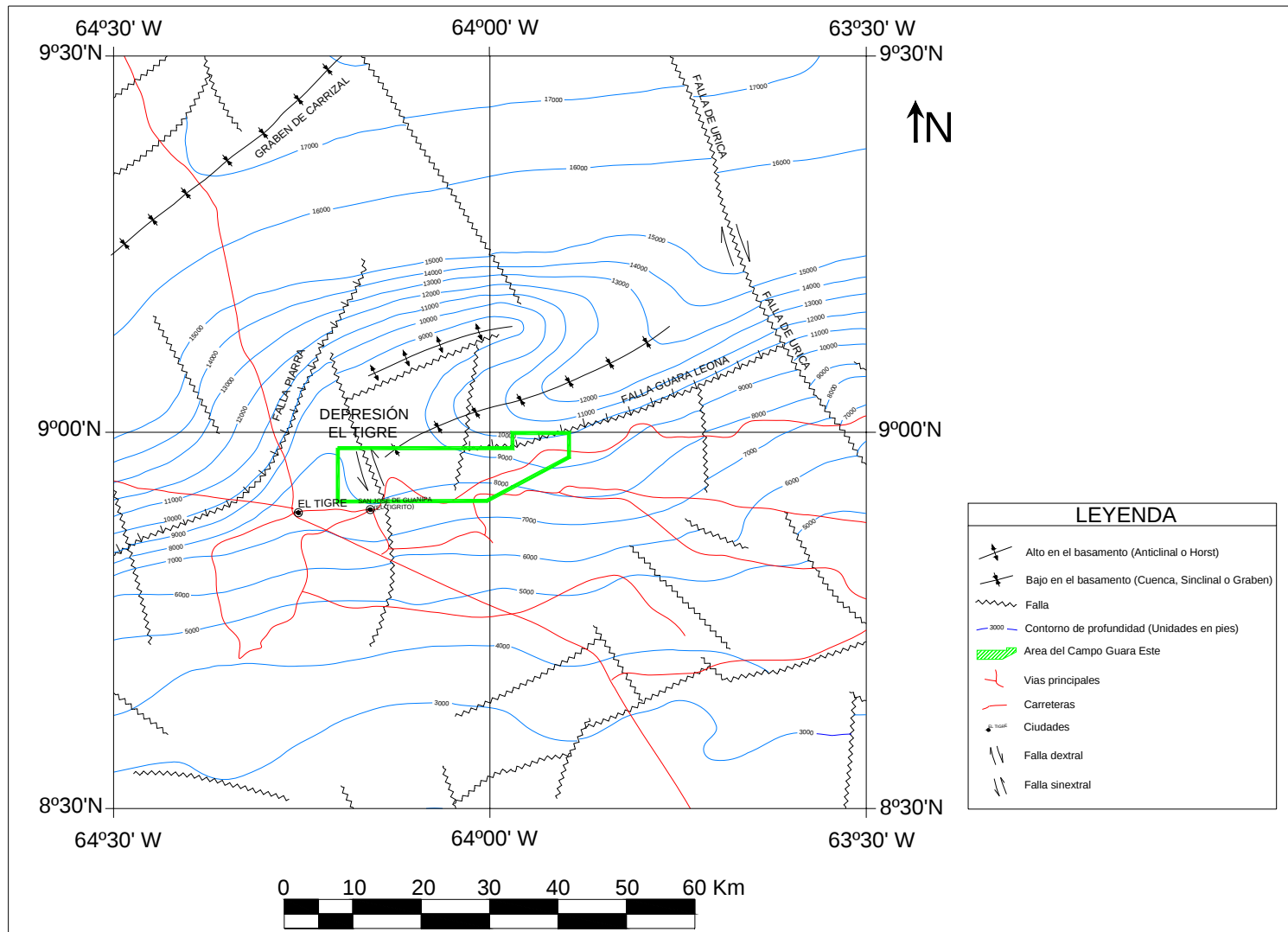


Figura 3.3: Mapa de Interpretación aeromagnética (Tomado y Modificado de Meneven (1981)).

3.2.2.- Fuente de los datos gravimétricos y magnéticos

La información utilizada en este trabajo de investigación fue aportada por la contratista nacional Suelopetrol al finalizar la ejecución del proyecto sísmico Guara-Este, la cual consistió en 484 estaciones ordinarias con valores de gravedad absoluta y de intensidad magnética total, distribuidas uniformemente en el área del proyecto (figuras 3.4 y 3.5). Por otro lado, se pudo contar con información de profundidades de topes estratigráficos obtenida a partir de 6 registros de pozos ubicados dentro del área, los cuales fueron aportados por la industria nacional PDVSA y utilizados para ajustar las profundidades y espesores de los modelos estructurales propuestos (figura 3.6)

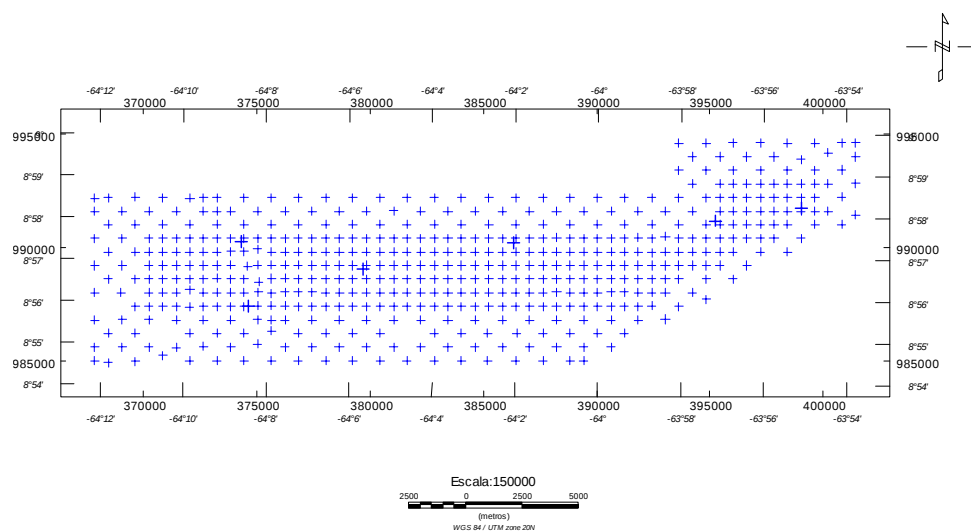


Figura 3.4: Ubicación de estaciones gravimétricas

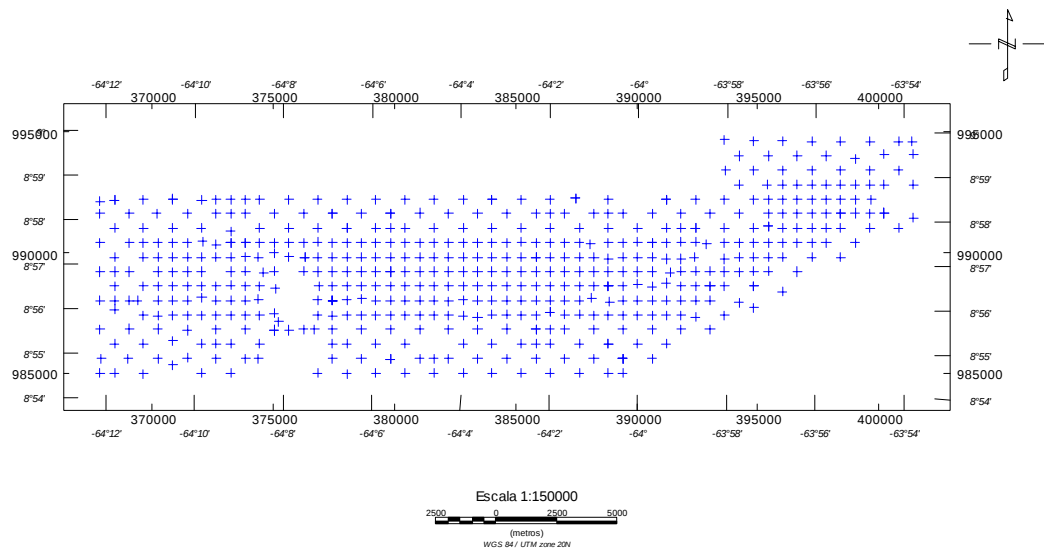


Figura 3.5: Ubicación de estaciones magnéticas.

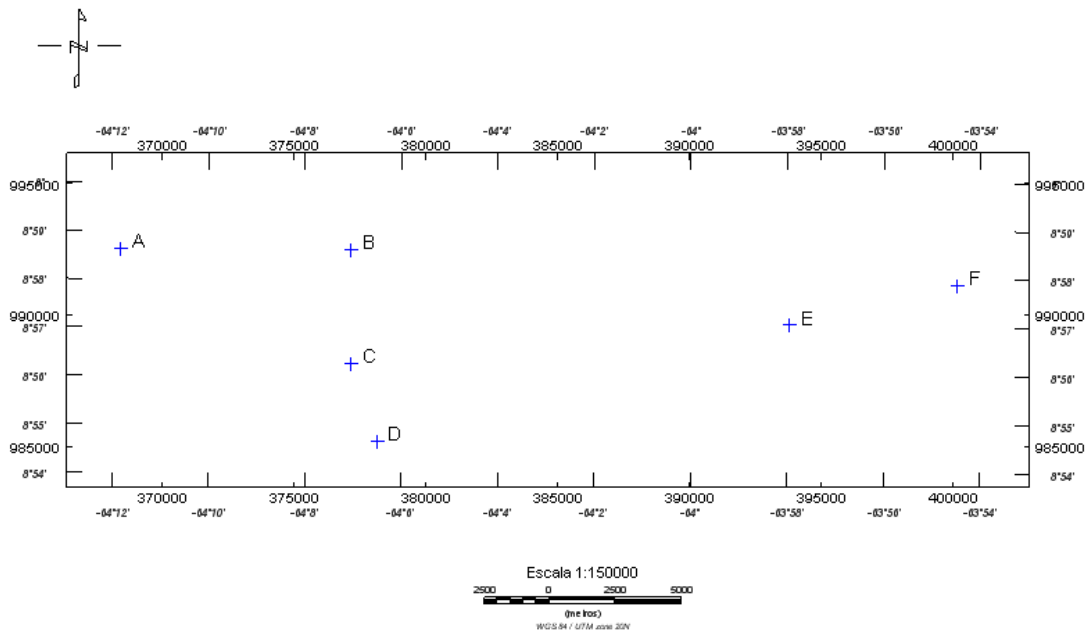


Figura 3.6 Mapa de Ubicación de los Pozos A, B, C, D, E y F utilizados para el ajuste de profundidades y espesores de los modelos estructurales propuestos

3.2.3.- Revisión de los datos gravimétricos y magnéticos

Antes de generar los mapas de anomalías gravimétricas y magnéticas se realizó una revisión detallada de los datos suministrados. Esta revisión consistió en la depuración de los datos para descartar los valores de las estaciones remedidas y de aquellas que pudieran poseer valores fuera de rango o que tenían un orden de magnitud que difería significativamente con respecto al resto de los datos.

3.3.- PROCESAMIENTO DE LOS DATOS GRAVIMÉTRICOS

Debido a que las mediciones de gravedad son influenciadas por factores como la cota, ubicación geográfica, topografía del área, mareas y deriva del gravímetro, es necesario aplicar factores de corrección a las medidas de gravedad absoluta, para disminuir tales efectos y así estimar los valores de gravedad al nivel del mar (*reducción de valores de gravedad al Geoide*), los cuales han de ser comparados con los valores de gravedad teórica para determinar las posibles anomalías de gravedad.

Las anomalías gravimétricas son el resultado de comparar la gravedad observada en un punto con la gravedad teórica. Sin embargo, existen muchos factores que afectan considerablemente el carácter de dichas anomalías, como por ejemplo: el volumen o espacio ocupado por las masas anómalas, contraste de densidad, la profundidad a la fuente, la forma de los cuerpos causantes de las anomalías y el aislamiento (separación de la anomalía de interés del marco regional: separación regional-residual) (Rodríguez, 2006).

Por otro lado, la magnitud de una anomalía gravimétrica causada por una estructura determinada depende directamente del volumen y el contraste de densidad. Análogamente, el tamaño y la agudeza de la anomalía decrece en función de la profundidad de la masa causante de ésta. Dichas relaciones se mantienen siempre y cuando la estructura causante de la anomalía sea concentrada, de lo contrario la anomalía se reducirá en magnitud y agudeza.

3.3.1.- Reducción al geoide de los datos gravimétricos

La reducción al geoide de los datos gravimétricos o cálculo de las anomalías de Bouguer fue realizada mediante la expresión.

$$A_B = G_{Obs} + C_{AL} - C_B + C_{Top} - G_{Teo} [mgal]$$

donde:

- ♦ A_B es la Anomalía de Bouguer para una densidad ρ_B .
- ♦ G_{Obs} es la gravedad observada o medida en la estación luego de realizar las correcciones por mareas y deriva.
- ♦ C_{AL} es la corrección de Aire-Libre para una altura h , con $C_{AL} = 0.3086 * h$.
- ♦ C_B es la corrección de Bouguer para una densidad ρ_B , con $C_B = 0.04191 * \rho_B * h$.
- ♦ C_{Top} es la corrección topográfica de cada estación.
- ♦ G_{Teo} es la gravedad teórica para la latitud ϕ , con $G_{Teo} = 978031.846 * (1 + 0.005278895 \sin^2 \phi + 0.000023462 \sin^4 \phi) [mgal]$.

La corrección topográfica de los datos gravimétricos fue realizada mediante el módulo Gravity del Oasis Montaj™, en donde se utilizaron dos Modelos Digitales de Elevación (DEM) (figura 3.6), uno a escala regional y otro a escala local para una densidad de 2.1 g/cm^3 como dato de entrada para el cálculo de la misma. Es importante mencionar que el programa utiliza algoritmos diferentes para el cálculo de cada una de las contribuciones presentes en la corrección topográfica.

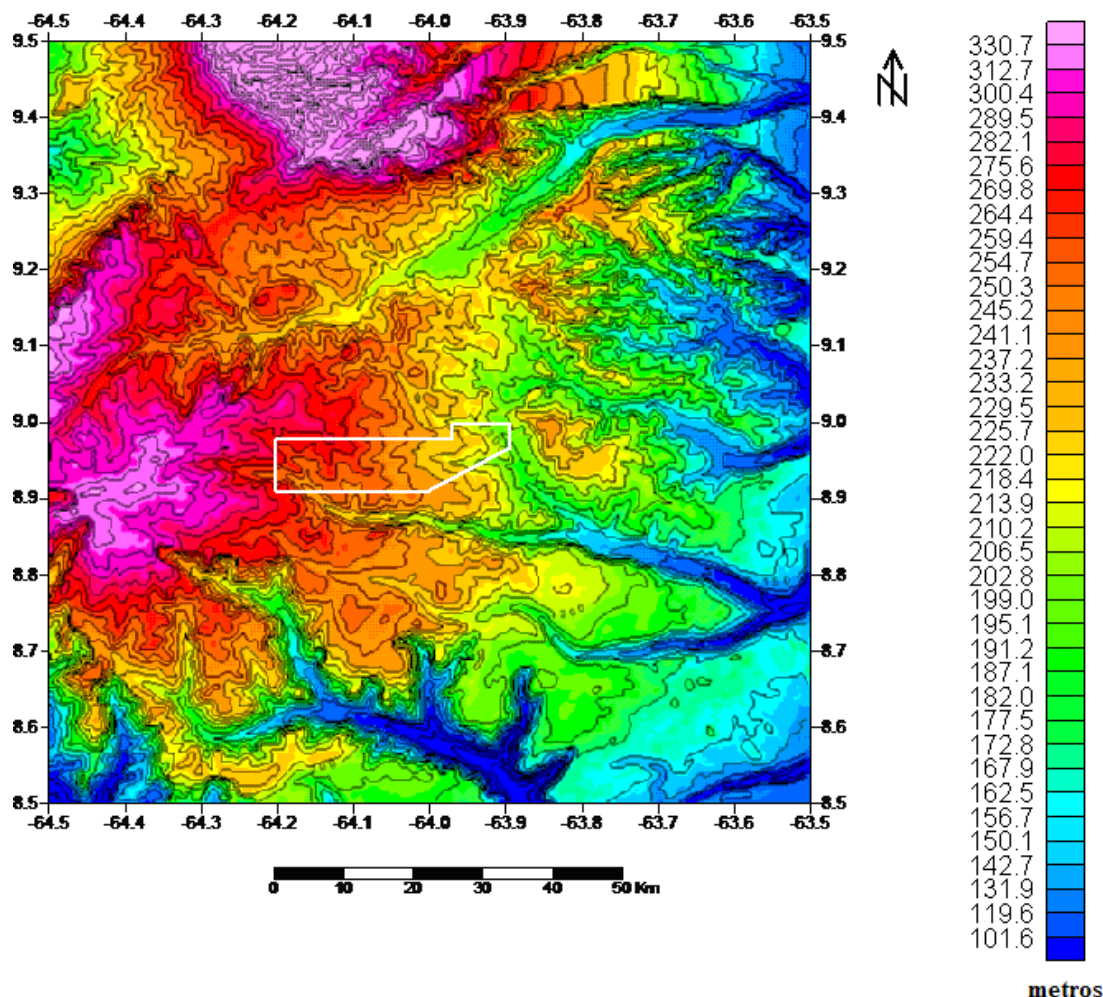


Figura 3.6: Modelo de elevación digital regional

Dado que no fue posible contar con datos de perfiles para estimación de la densidad de Bouguer más característica del área, el valor de la densidad utilizada fue elegido en concordancia con un estudio gravimétrico realizado en las cercanías de la ciudad de Pariaguán, Edo. Anzoátegui, aproximadamente a 80Km al suroeste del campo Guara Este, en el cual se realizó un perfil de densidades de Nettleton (Colmenares, 2007), y en donde se determinó una densidad de 2.1g/cm^3 asociada a la Formación Mesa. Esta formación tiene una extensión geográfica y espesor significativo que abarca el área de estudio, por lo cual se consideró el valor de esta densidad para el cálculo de las correcciones topográfica y de Bouguer. Los valores

calculados de anomalía de Bouguer para una densidad de 2.1g/cm^3 en el Campo Guara Este pueden ser consultados en el Apéndice A.

3.3.2.- *Análisis estadístico de los datos gravimétricos*

Para validar y verificar la calidad de los datos gravimétricos se realizó un análisis estadístico a los mismos, a través del programa SPSS® versión 13.0 (Statistical Package for Social Science) y se evaluó la distribución y dispersión de los datos. De esta manera se realizaron histogramas de frecuencia, diagrama de cajas y bigotes, y las pruebas paramétricas P-P y Q-Q de la Anomalía de Bouguer.

En la tabla 3.1 se muestran las medidas de tendencia central, dispersión de los datos, que presentan una desviación estándar de 3.857, reflejando una población de datos muy cercana al valor medio de los datos.

Tabla 3.1: Medidas de tendencia central y dispersión de los datos de Anomalía de Bouguer

	Anomalía de Bouguer (mgal)
Media	-52.045
Mediana	-52.168
Moda	-51.700
Desviación Estándar	3.857
Varianza	14.874
Mínimo	-60.320
Máximo	-43.510
Percentil 25	-54.608
Percentil 50	-52.168
Percentil 75	-49.281

A partir del análisis del histograma de frecuencias se observa una distribución normal en los datos cuyos valores están comprendidos entre un valor mínimo de -60.32 mgal y un valor máximo de -43.51 mgal (Figura 3.7).

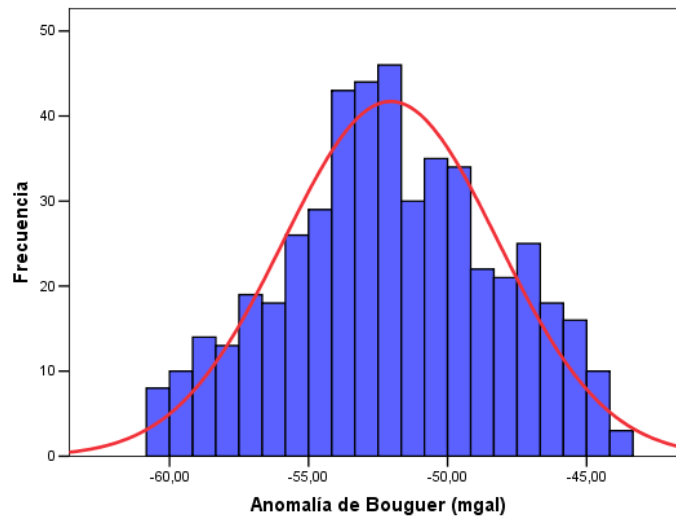


Figura 3.7: Histograma de frecuencias de los datos gravimétricos.

Por otro lado, para verificar la distribución y comportamiento de los datos gravimétricos se realizó un diagrama de caja y bigotes con la finalidad de observar la existencia de valores aislados que se separen de la población (Figura 3.8).

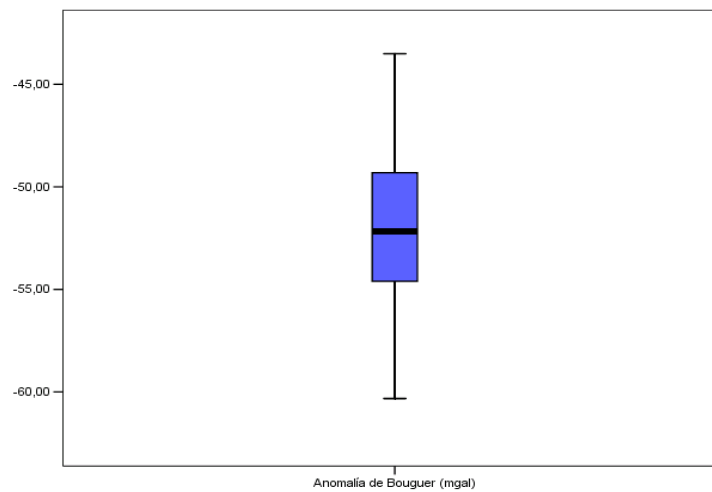


Figura 3.8: Diagrama de caja y bigotes para los datos de Anomalías de Bouguer

En la figura anterior se puede afirmar que los datos presentan una distribución simétrica y normal, que no existe datos fuera de rango dentro de la población y la

longitud de los bigotes es igual, lo que permite inferir que es una distribución uniforme a lo largo de la zona.

Finalmente, se realizaron pruebas paramétricas P-P y Q-Q (Figura 3.9a y 3.9b), con la finalidad de verificar la normalidad de los datos, en los cuales se puede observar que éstos se distribuyen y ajustan a la recta de 45°, por lo que se puede corroborar la existencia de una población con distribución normal.

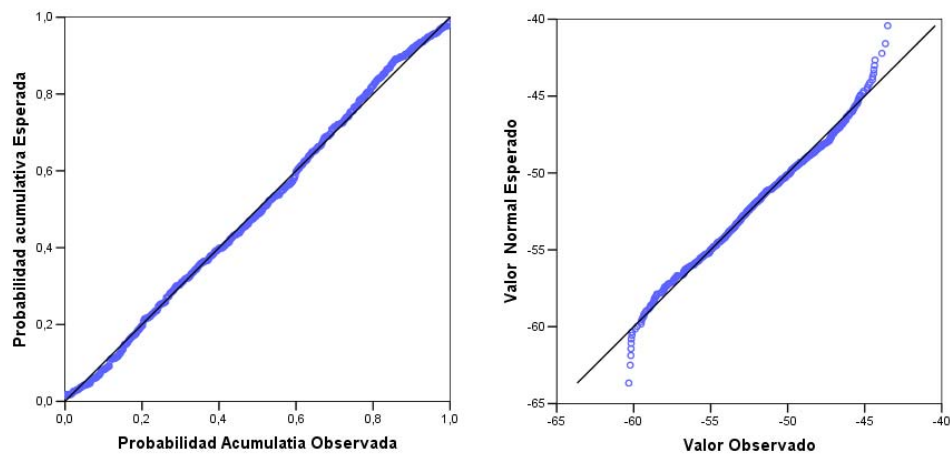


Figura 3.9: a) Prueba Paramétrica P-P y b) Prueba paramétrica Q-Q realizadas en los datos gravimétricos.

3.4.- MAPA DE ANOMALÍA DE BOUGUER

Un mapa de anomalía de Bouguer muestra las variaciones de gravedad debido a los contrastes de densidad entre las distintas masas de rocas presentes en profundidad. La disposición de las curvas isoanómalas responde con la sumatoria de los efectos que las distintas estructuras provocan en el campo gravitatorio terrestre.

Una vez finalizado el procesamiento y análisis estadístico de toda la información gravimétrica, se procedió a la elaboración del mapa de Anomalía de Bouguer mediante el empleo del programa Oasis (Figura 3.10) para una densidad de 2.1 g/cm^3 con un intervalo entre curvas de 0.5 mgal .

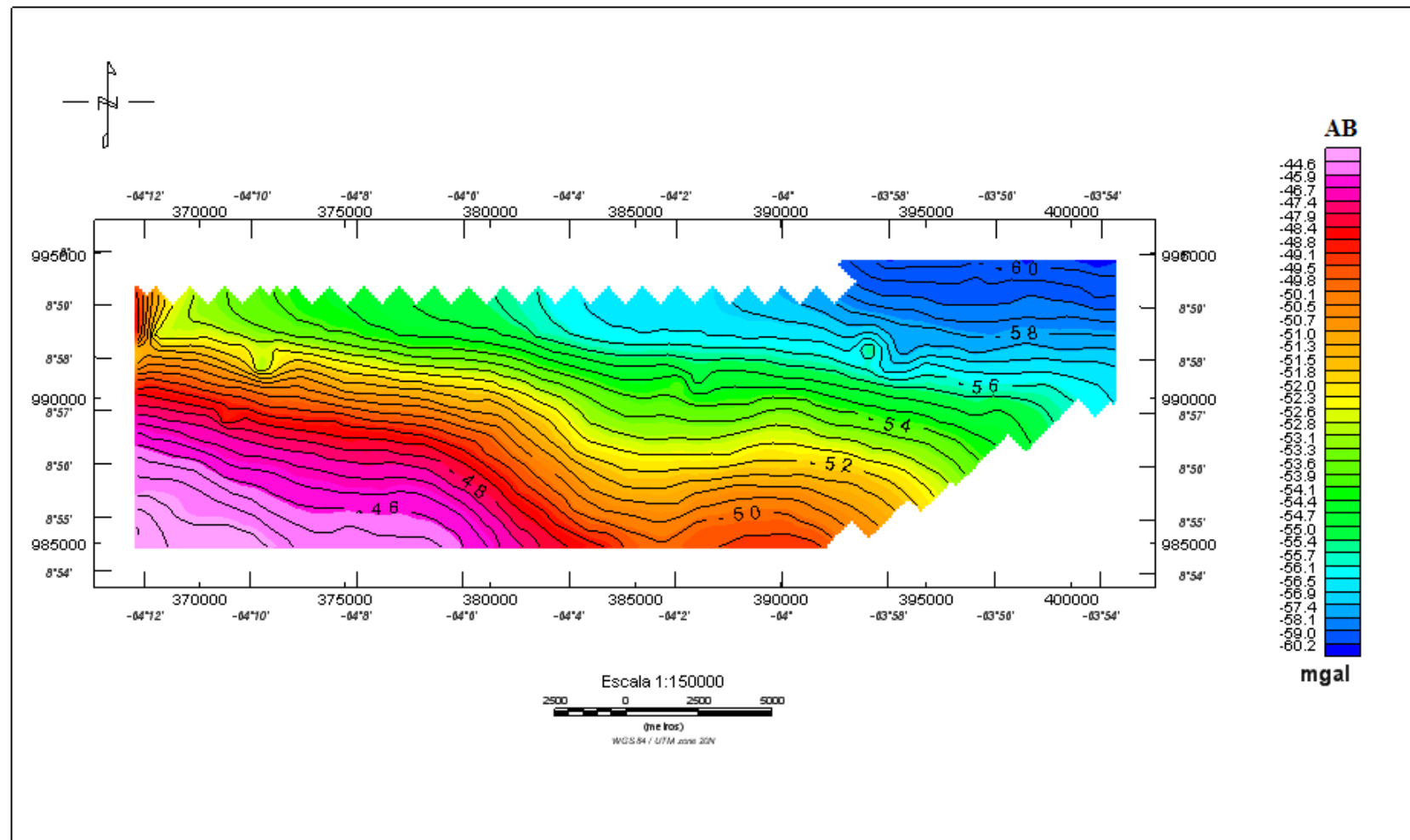
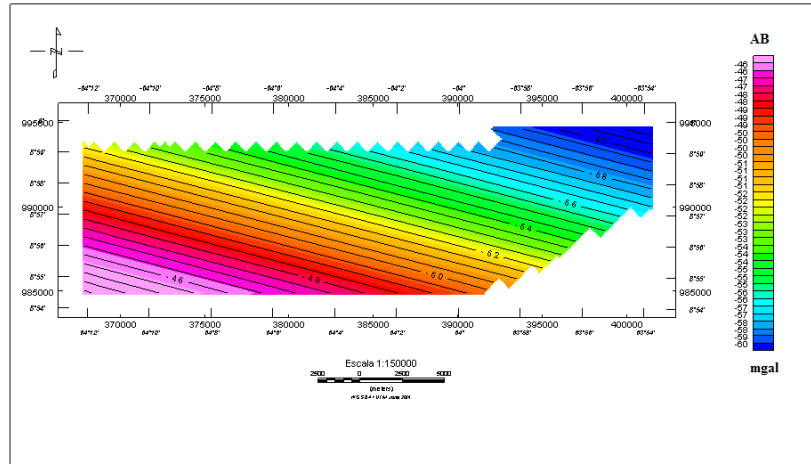


Figura 3.10: Mapa de Anomalías de Bouguer con densidad 2.1 g/cm^3

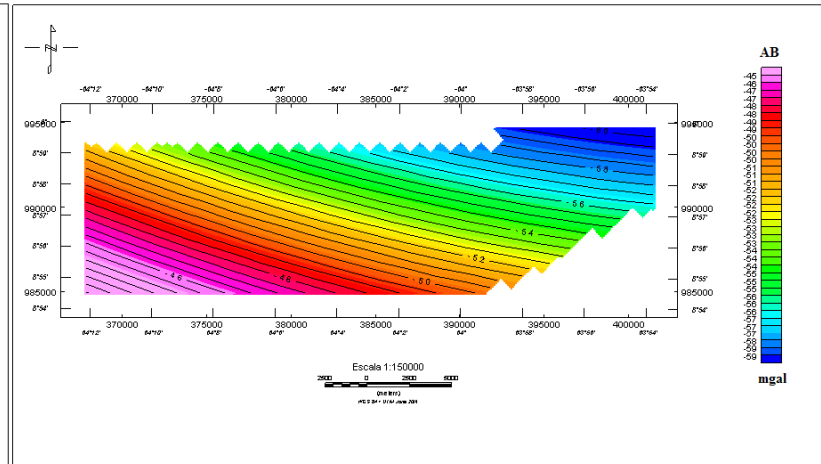
3.4.1.- Separación regional – residual y continuación analítica de la Anomalía de Bouguer

En todo estudio gravimétrico como magnético es necesario realizar la separación regional - residual a los mapas de Anomalía de Bouguer y anomalía magnética, ya que éstos manifiestan un efecto combinado de dos fuentes: una regional y otra de carácter local o residual. Las anomalías regionales se caracterizan por ser de gran amplitud y representan la configuración estructural de la corteza terrestre. Por otro lado, las distorsiones locales de menor amplitud y extensión, están asociadas a estructuras o eventos del subsuelo relativamente muy cercanos a la superficie y que son conocidas como anomalías residuales (Rodríguez, 1974).

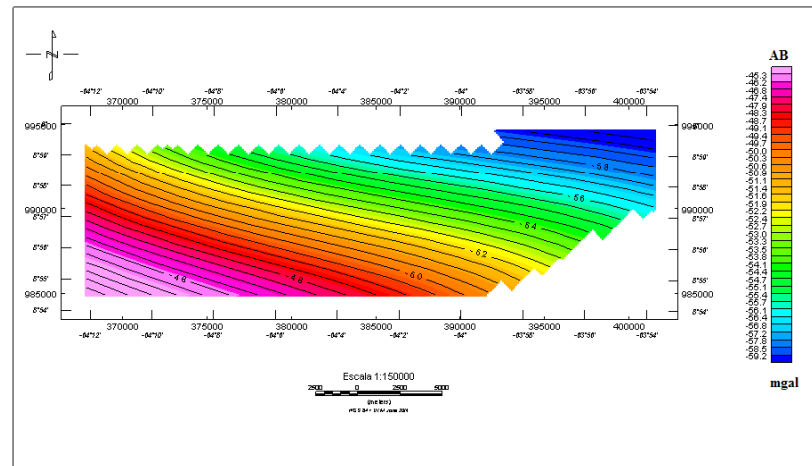
La separación regional residual puede ser realizada por distintos métodos; en este estudio se aplicaron los métodos de superficie de tendencia polinómica y de continuación analítica del campo, realizados en el módulo de MAG/MAP Filtering, del Oasis MontajTM, versión 7.1.0. De este modo, se obtuvieron los mapas regionales de 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} grado (Figura 3.11) y los mapas residuales de 1^{er}, 2^{do} y 3^{er} (Figura 3.12), así como los de continuación analítica.



a)



b)



c)

Figura 3.11: Mapa regionales de Anomalías de Bouguer de a) 1er grado , b) 2do grado y c) 3er grado por superficie polinómica.

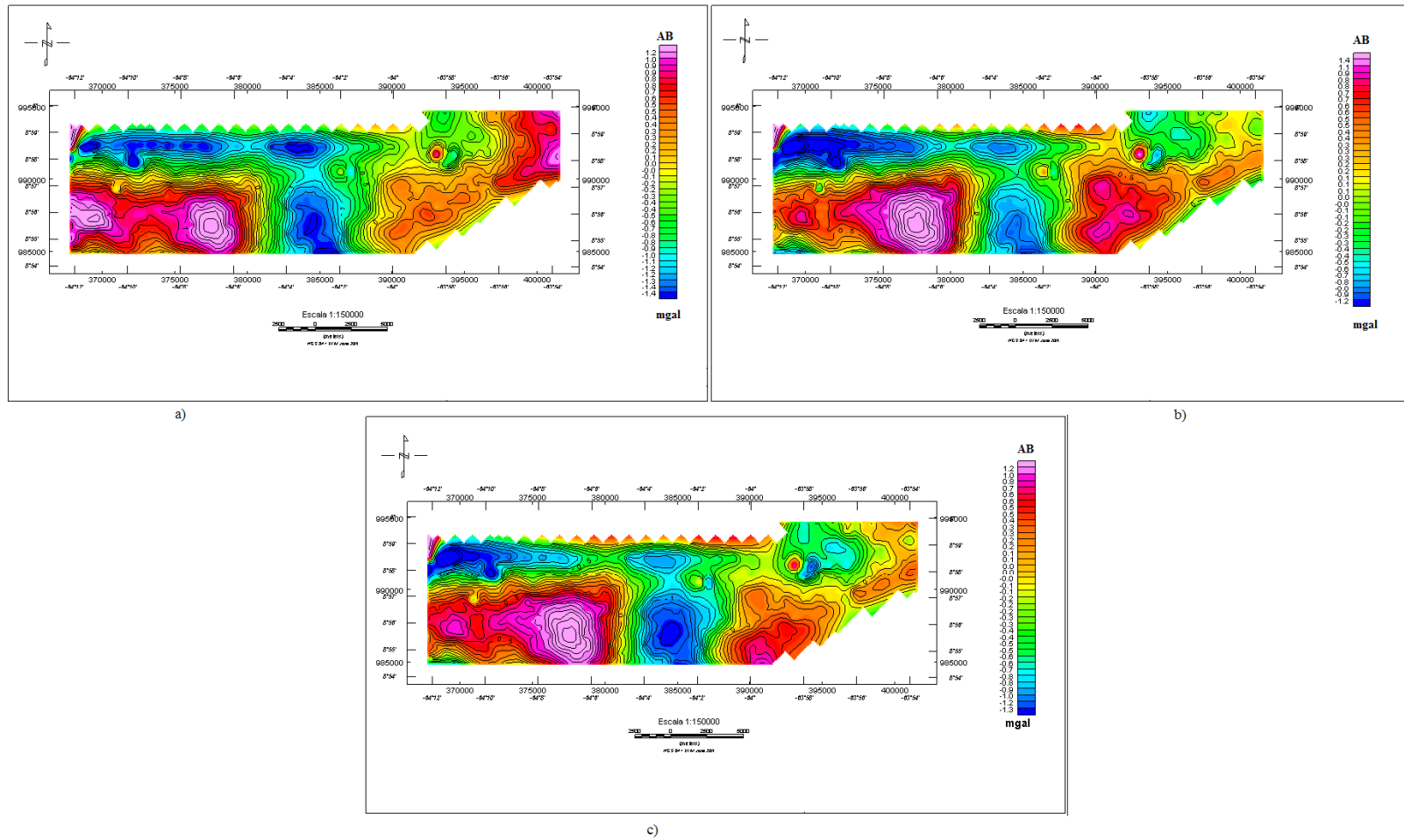


Figura 3.12: Mapas residuales de Anomalia de Bouguer de: a) 1er grado, b) 2do grado y c) 3er grado por superficies polinómicas

Para obtener el mejor grado del polinomio que se ajuste a los datos gravimétricos, fue necesario realizar un análisis de superficies de tendencias mediante la bondad de ajuste. En la Tabla 3.2 se indican los valores del coeficiente de determinación para cada una de las superficies calculadas cuyos valores se representan en la Figura 3.13.

Tabla 3.2: Valores de coeficiente de determinación para los datos gravimétricos

Grado del Polinomio	Bondad de Ajuste (%)
1	96.16
2	98.08
3	98.38

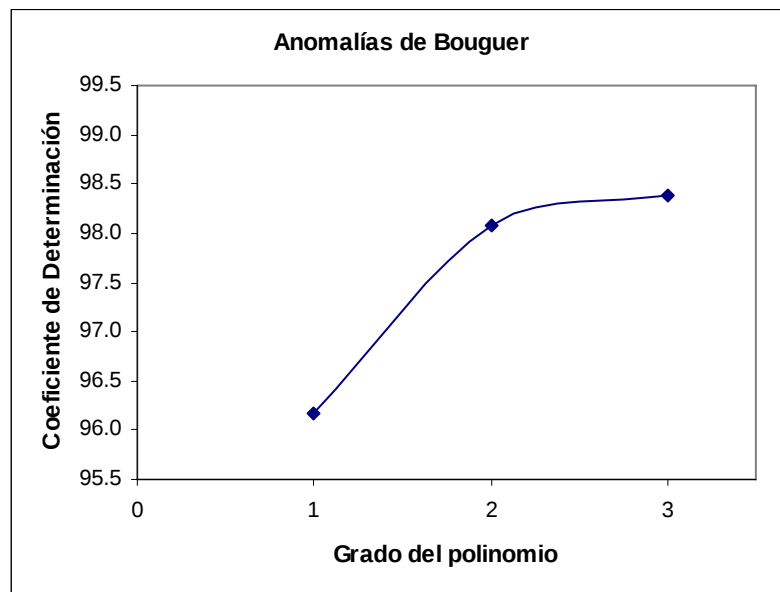


Figura 3.13: Gráfico de coeficiente de determinación Vs grado del polinomio para los datos de Anomalía de Bouguer

De lo anterior se puede notar cierta semejanza numérica en los coeficientes de determinación de 2do. y 3er grado así como también en las respectivas superficies polinómicas. Sin embargo, debido a la correspondencia regional con las anomalías gravimétricas (figura 3.14), se estima que la superficie que mejor se ajusta a los datos de Anomalía de Bouguer es el polinomio de 2do. Grado (Apéndices B y C), debido a

las correspondencias regionales de éstos con las estructuras presentes en el área, tal y como se comprueba al comparar los mapas de las figuras 3.2, 3.3 y 3.14.

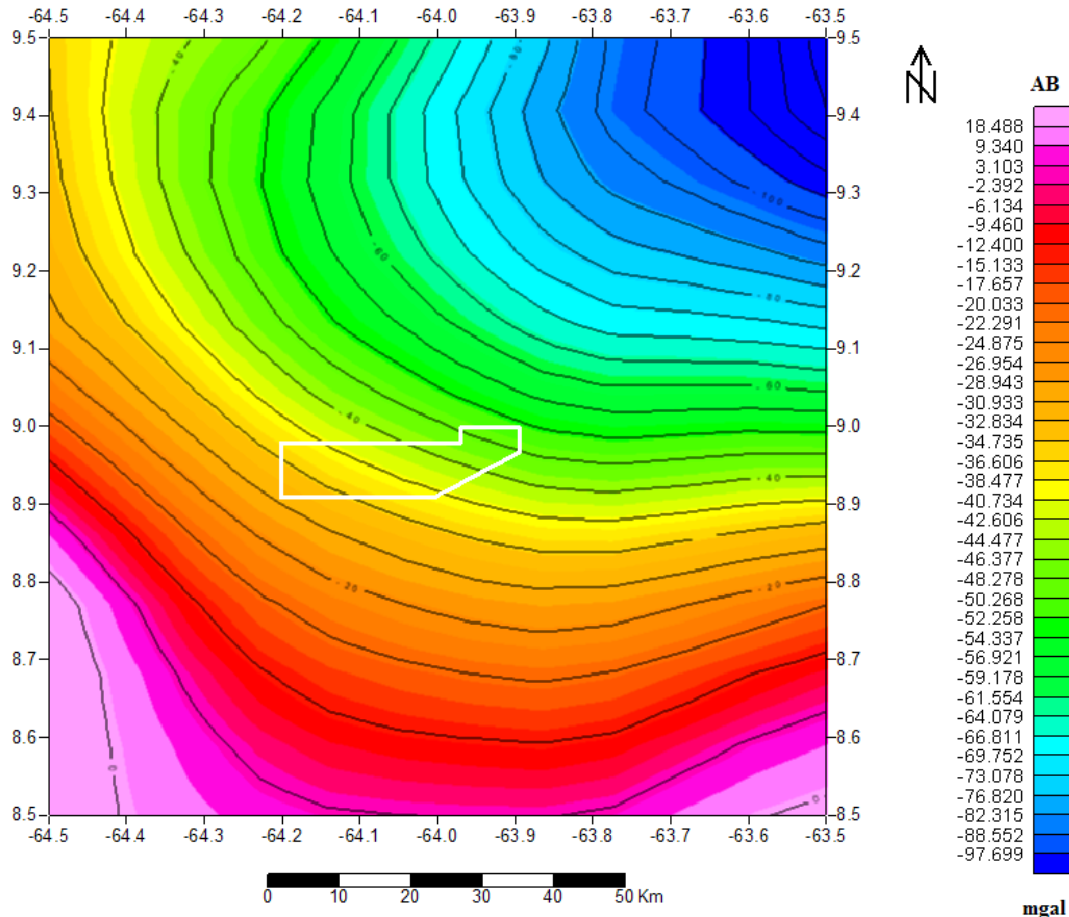


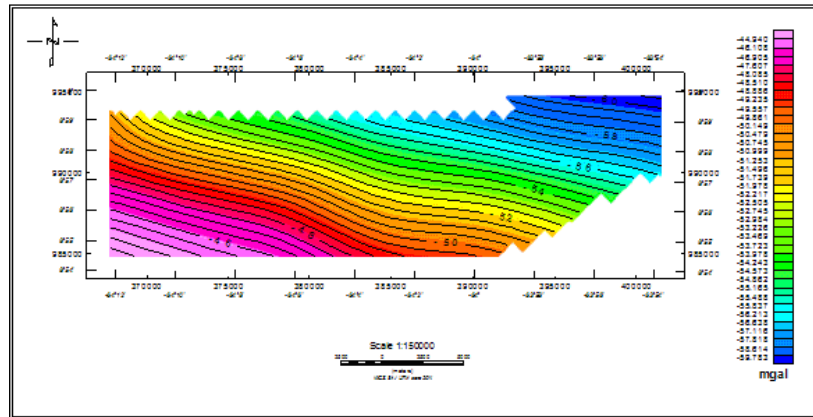
Figura 3.14: Imagen satelital de anomalía de Bouguer generada a partir del módulo DAP del Oasis Montaj.

Con la continuación analítica del campo es posible conocer la forma que tendría el campo potencial si las medidas u observaciones se hicieran a un nivel más alto o más bajo en el cual se tomaron las medidas.

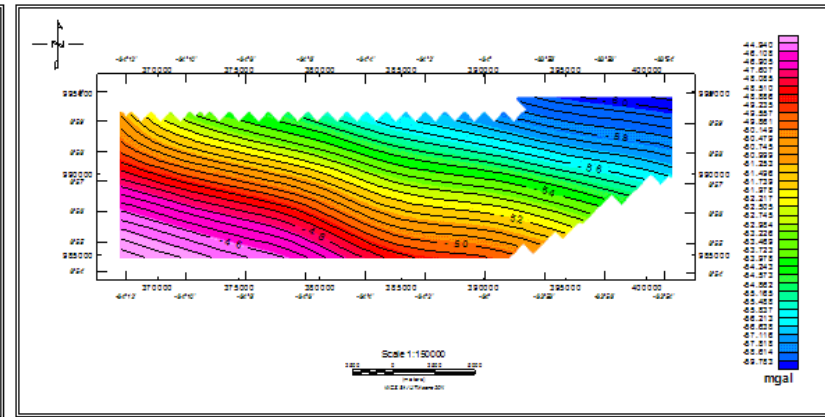
La continuación hacia arriba, genera un campo más suavizado que el original y es considerado un filtro limpio ya que éste no produce efectos laterales que pudieran requerir la aplicación de otros filtros o procesos para corregir. Debido a esto,

este filtro es frecuentemente usado para remover o minimizar los efectos de fuentes someras y ruidos en una malla de datos.

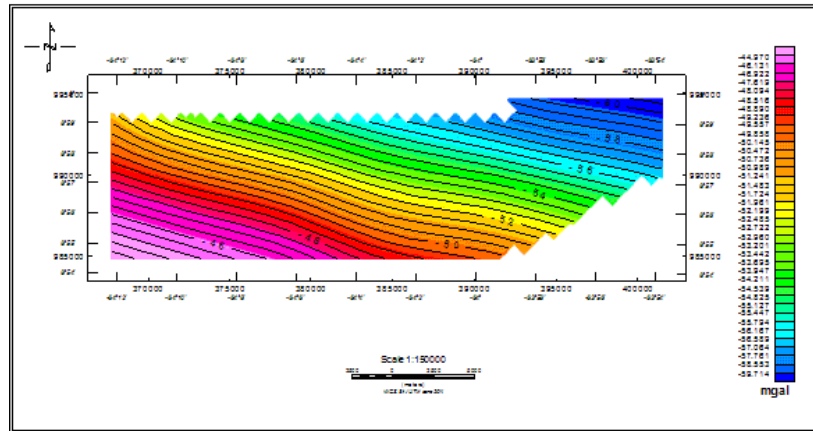
A los datos gravimétricos se les aplicó la continuación analítica hacia arriba a diferentes alturas (1000, 2000, 3000 y 5000 m) (Figura 3.15), para así observar la altura apropiada en donde se obtenga un mapa sin la existencia de altas frecuencias. Seguidamente, se generaron los mapas residuales de la continuación analítica hacia arriba, restando el mapa regional obtenido mediante este filtro a la Anomalía de Bouguer por medio de una aplicación del Oasis Montaj (Figura 3.16).



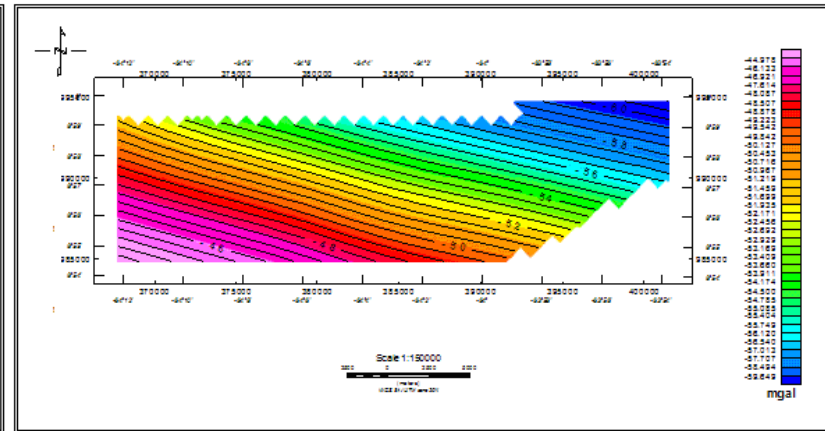
a)



b)

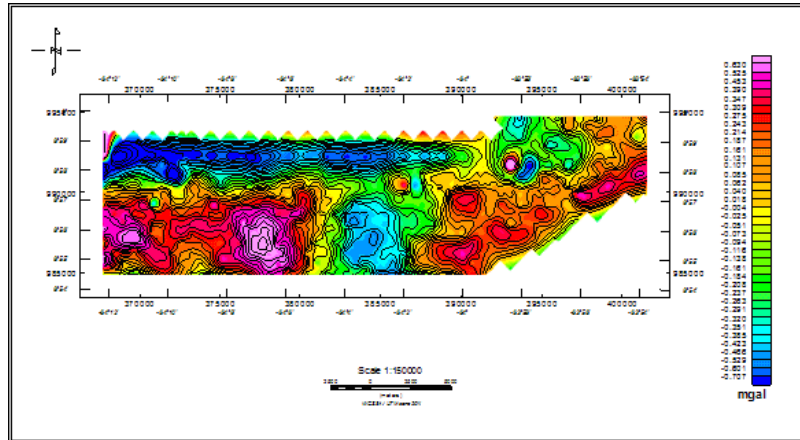


c)

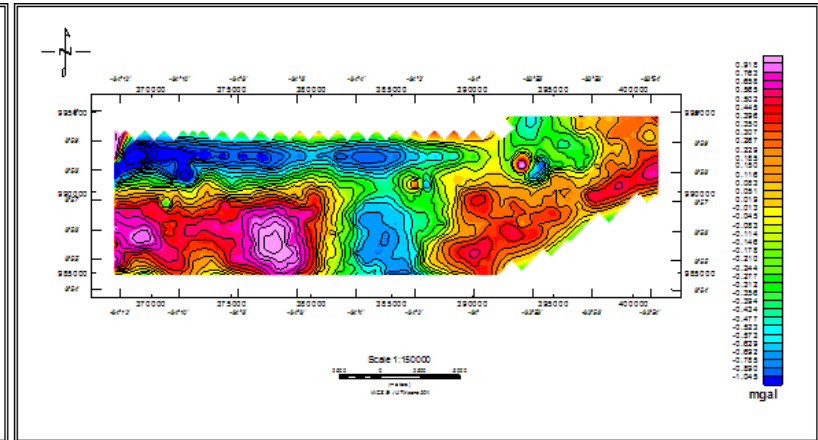


d)

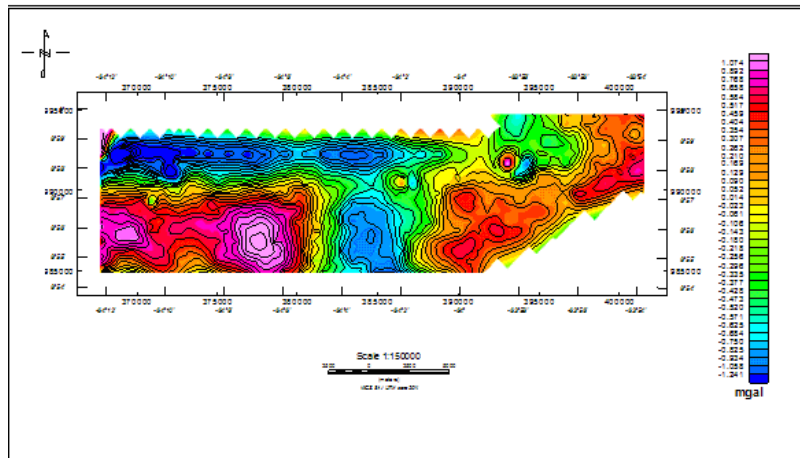
Figura 3.15: Mapas regionales de Anomalia de Bouguer de: a) 1000 m, b) 2000 m, c) 3000 m y d) 5000 m hacia arriba.



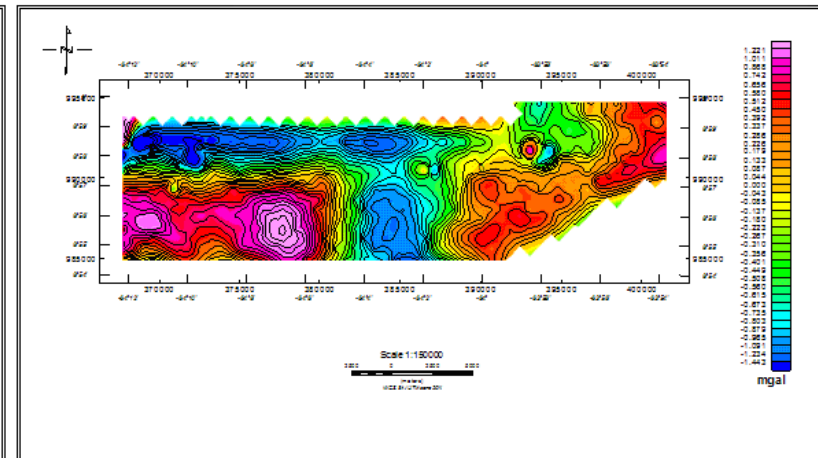
a)



b)



c)



d)

Figura 3.16: Mapas residuales de Anomalia de Bouguer de a) 1000 m, b) 2000 m, c) 3000 m y d) 5000 m hacia arriba

Finalmente, al estudiar todos los mapas regionales y residuales obtenidos a partir de la continuación analítica, se eligieron los regionales y residuales calculados para 5000m, por ser el que mejor representa los efectos de las fuentes anómalas (figuras 3.15d y 3.16d).

3.4.2.- Análisis espectral de datos gravimétricos

La profundidad de las estructuras en el subsuelo puede ser determinada a partir de numerosos métodos entre los que destacan la interpretación sísmica, el análisis espectral y la deconvolución de Euler de los datos gravimétricos y magnéticos.

El análisis espectral se basa en la aplicación de filtros en el dominio de Fourier, a una malla de datos en el dominio del espacio para transformarlo al dominio de la frecuencia. El espectro de energía promediado radialmente es una función del número de onda que se calcula a partir del promedio de la energía en todas las direcciones para un mismo número de onda. El logaritmo del espectro de estos datos puede ser interpretado para determinar la profundidad estadística de los topes de las fuentes usando la siguiente relación:

$$\text{Log } E(r) = 4\pi hr$$

La profundidad de un conjunto estadístico de fuentes viene determinada por la expresión:

$$h = -s / 4\pi$$

Donde h es la profundidad y s es la pendiente del logaritmo del espectro.

En la figura 3.17, se muestra el espectro de energía promediado radialmente de los datos gravimétricos, con el fin de estimar la profundidad de las fuentes que ocasionan la respuesta anómala en el área de estudio, basándose en la aplicación de

filtros en el dominio de Fourier, a una malla de datos en el dominio del espacio para transformarlo al dominio de la frecuencia.

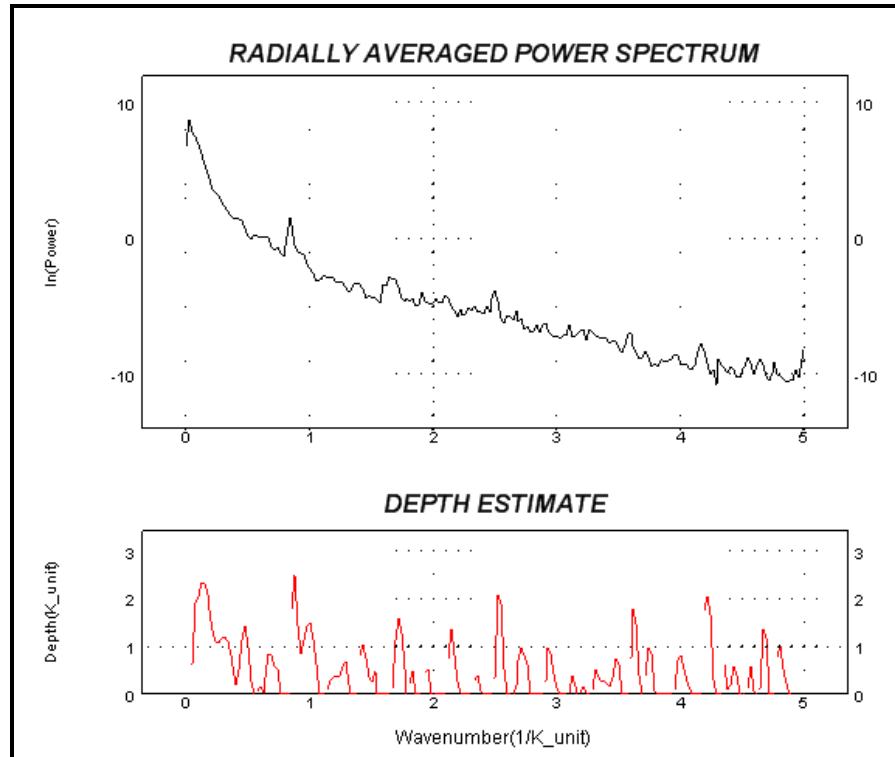


Figura 3.17: Análisis espectral de los datos de Anomalía de Bouguer.

En la figura 3.17, se trazan las rectas que permiten estimar el valor de las pendientes y de esta manera obtener las profundidades aproximadas de las distintas fuentes (Profunda, intermedia y somera) (Figura 4.2). Finalmente, se obtienen los valores de profundidad estimada por el análisis espectral de los datos gravimétricos que se indican en la tabla 3.3:

Tabla 3.3: Profundidades estimadas de las fuentes anómalas a partir del análisis espectral de los datos de Anomalía de Bouguer

Fuente	Profundidad (Km.)
Profunda	2.846
Intermedia	2.514
Somera	0.636

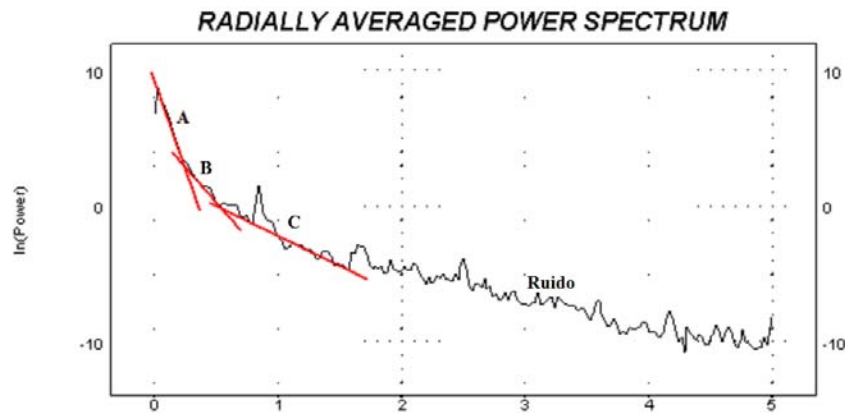


Figura 3.18: Gráfico de análisis espectral de Anomalías de Bouguer interpretado

3.4.3.- Deconvolución de Euler de datos gravimétricos

La interpretación de los datos gravimétricos y magnéticos mediante la Ecuación de Deconvolución de Euler, permite aproximar el tipo, forma y posición espacial de las fuentes del potencial gravimétrico y magnético respectivamente. Es decir, que por medio de la discriminación de las soluciones de los distintos elementos estructurales, se puede encontrar la solución de estructuras contenidas en un sistema organizado y preconcebido con aproximaciones a la realidad geológica.

El método Euler 3D estándar se basa en la ecuación de homogeneidad de Euler, dada por la expresión:

$$(x-x_0)\frac{\partial T}{\partial x} + (y-y_0)\frac{\partial T}{\partial y} + (z-z_0)\frac{\partial T}{\partial z} = N(B-T)$$

Esta ecuación relaciona el campo gravimétrico o magnético y sus componentes gradientes para la localización de las fuentes, con el grado de

homogeneidad N , el cual puede ser interpretado como un índice estructural (Thompson, 1982). El índice estructural es una medida de la razón de cambio del campo potencial con la distancia. El punto x_0, y_0, z_0 es la posición de una fuente magnética o gravimétrica cuyo campo total T es medido para (x, y, z) . El campo total tiene un valor regional B .

Por medio del módulo Euler 3D del Oasis Montaj, se produjo el mapa de localización de las fuentes gravimétricas (figura 3.19), el cual fue generado con un error de 15%, un tamaño de ventana de 200 m y un índice estructural de 0.5, el cual resalta bordes de planos, que es concordante con la posible forma geológica de la zona

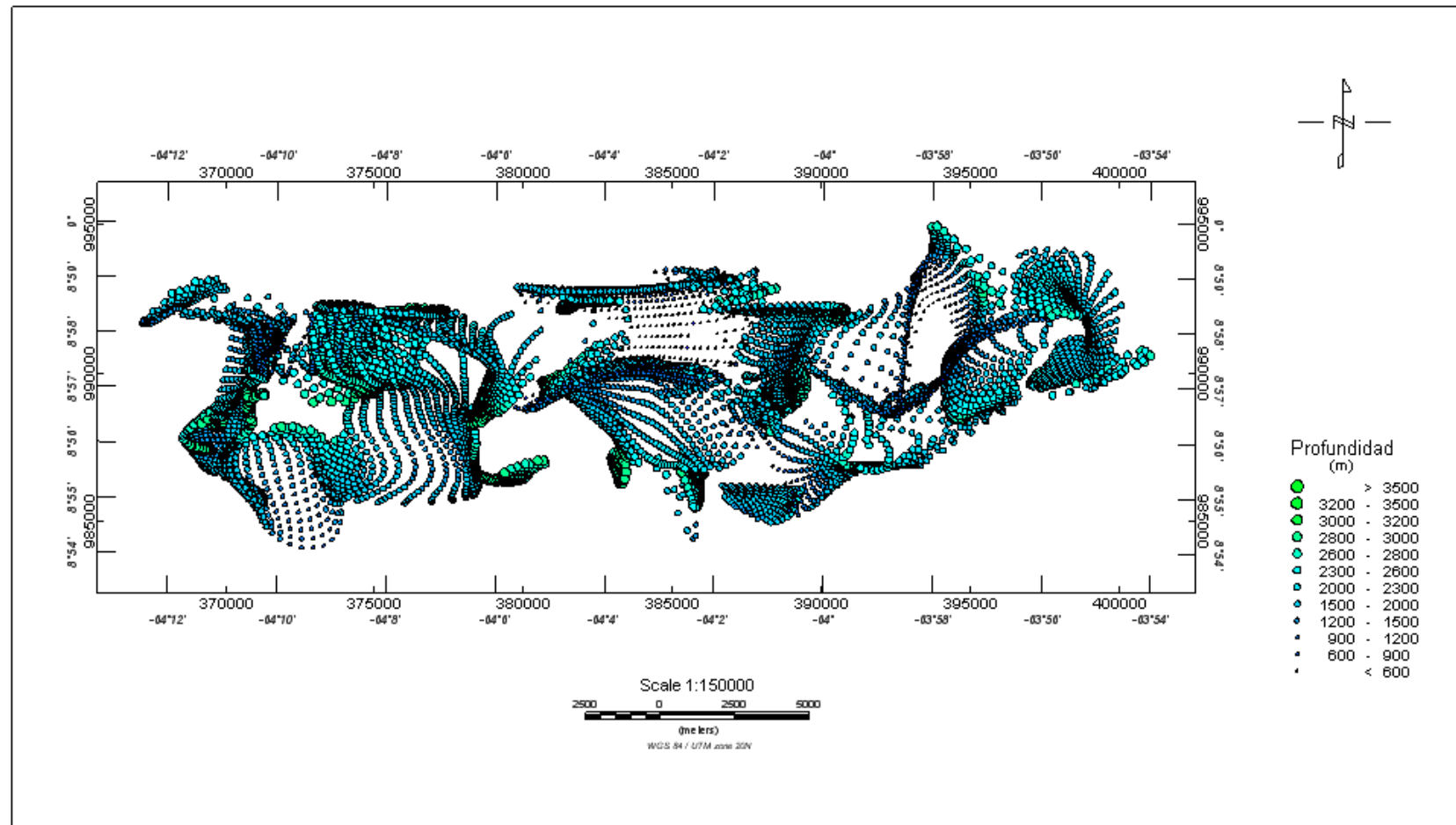


Figura 3.19: Mapa de ubicación en profundidad de las posibles fuentes gravimétricas

3.5.- PROCESAMIENTO DE LOS DATOS MAGNÉTICOS

3.5.1.- Corrección de los datos magnéticos

Dado que el campo magnético no es constante en ningún punto de la superficie debido a que sufre variaciones de distintos períodos, es necesario eliminar dichas variaciones de las observaciones magnéticas de campo. La más importante de las variaciones es la variación diurna.

El procesamiento de los datos magnéticos consistió en obtener los valores de anomalías magnéticas para cada estación mediante el uso del programa Microsoft Excel, para el cual se aplicó la expresión:

$$AM = IMT_{corr} - IGRF$$

Donde:

- **AM** es la anomalía magnética de la estación dada en nano-Teslas (ηT).
- **IGRF** es el valor teórico del Campo Geomagnético de Referencia Internacional.
- **IMT_{corregido}** es la Intensidad magnética total corregida por variación diurna, expresada mediante la ecuación:

$$IMT_{corr} = CD + IMT_{NT}$$

Donde:

- **CD** es la diferencia de intensidad magnética total observada entre la estación de campo y la estación base; viene dada como:

$$CD = IMT_{campo} - IMT_{base}$$

V_{NT} es una constante experimental, que representa el valor de fondo o valor sin perturbación y comúnmente se denominada “Valor de Noche Tranquila”, el cual se determina para la estación base en un lapso de 48 horas al inicio de la adquisición. Esta constante fue medida y suministrada por la empresa Suelopetrol y tiene un valor de 32516.070 ηT .

Los valores de anomalías magnéticas obtenidos se muestran en el Apéndice D.

3.5.2.- *Análisis estadístico de los datos magnéticos*

Se efectuó un análisis estadístico a los datos magnéticos para estudiar, analizar e interpretar la distribución y comportamiento general de los mismos.

A partir del análisis del histograma de frecuencia, se puede observar que la tendencia de los datos de anomalías magnéticas presentan un comportamiento normal (figura 3.20), con valores comprendidos entre un mínimo de $-258.13 \eta T$ y un máximo de $-146.68 \eta T$.

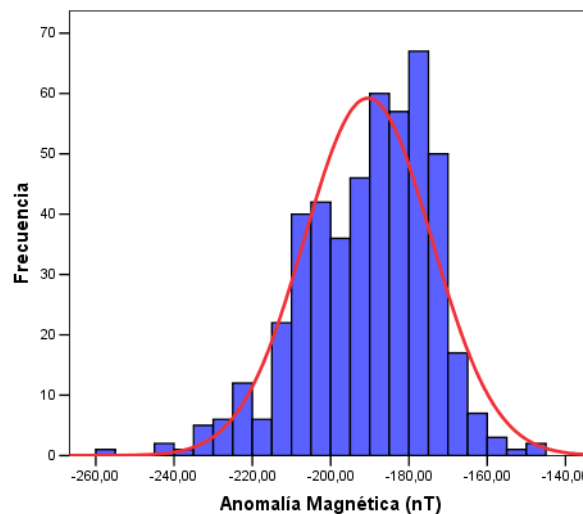


Figura 3.20: Histograma de frecuencia de los datos de Anomalías Magnéticas.

En la tabla 3.4 se muestran las medidas de tendencia central, dispersión, valor máximo y mínimo y percentil en los 484 datos de anomalías magnéticas, de los cuales se generaran los diferentes gráficos que se muestran a continuación.

Tabla 3.4: Medidas de tendencia central y dispersión de los datos de Anomalia Magnética

	AM (nT)
Media	-190.4653
Mediana	-187.6653
Moda	-168.13
Desviación Estándar	16.2645
Varianza	264.534
Mínimo	-258.13
Máximo	-146.68
Percentil 25	-201.2250
Percentil 50	-187.6653
Percentil 75	-178.0151

Se realizó un estudio de diagrama de caja y bigotes con el objetivo de evaluar la forma en que se distribuyen los datos (Figura 3.21)

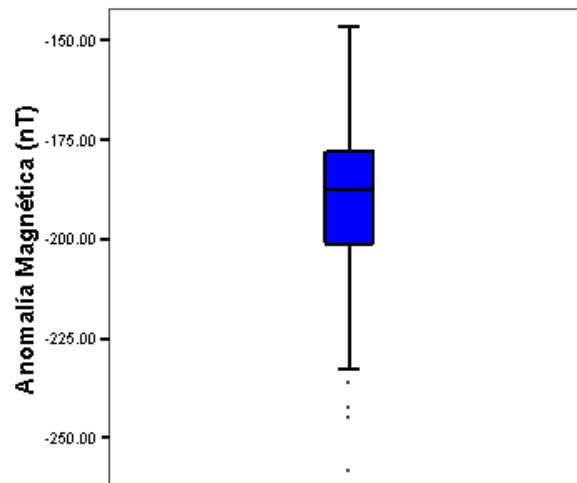


Figura 3.21: Diagrama de caja y bigotes de los datos de anomalía magnética

La figura anterior muestra el resultado del diagrama de caja y bigote, donde se puede apreciar una distribución uniforme, que se evidencia tanto en el histograma como en las medidas de tendencia central de los datos (valores de media, mediana y

moda muy cercana); también se observan cuatro valores fuera de rango que corresponden a los valores más bajos.

Con el fin de evaluar los datos gráficamente se realizaron pruebas paramétricas P-P y Q-Q (figura 3.22).

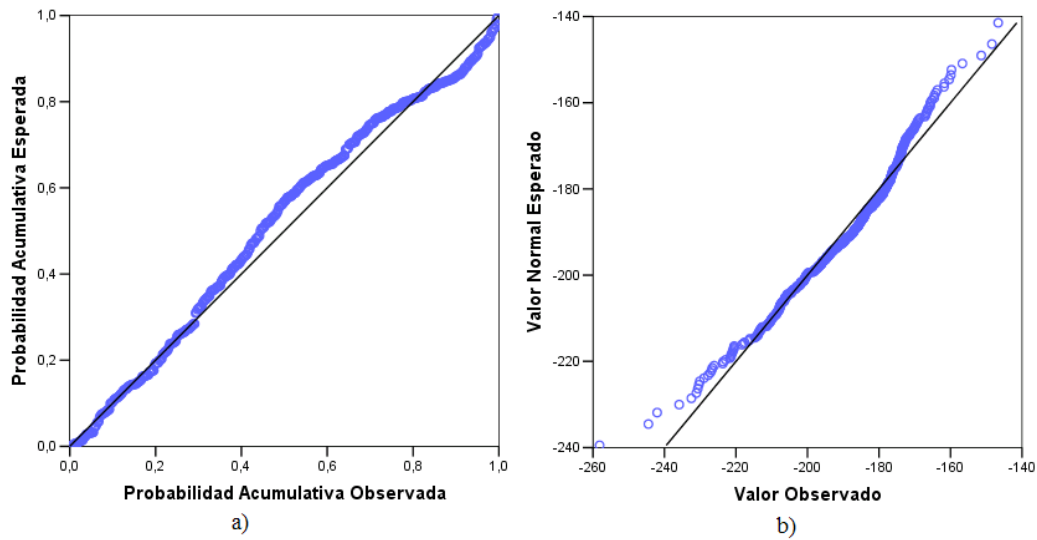


Figura 3.22: a) Prueba Paramétrica P-P y b) Prueba Paramétrica Q-Q realizadas en los datos de Anomalía Magnética

Mediante las pruebas anteriores se verifica el comportamiento normal de los datos de intensidad magnética total, ya que los mismos se encuentran mayoritariamente sobre la recta de 45°.

3.6- MAPA DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS

Los mapas de anomalías magnéticas representan la respuesta debida al campo magnético generado por las rocas, a consecuencia del contenido de minerales que actúan espontáneamente como imanes bajo la influencia del campo magnético terrestre.

Luego de realizar el procesamiento y análisis estadístico de los datos magnéticos, se procedió a la elaboración del mapa de anomalías magnéticas mediante el empleo del programa Oasis (figura 3.23) con un intervalo entre curvas de 2 nT.

3.6.1.- Separación regional- residual y continuación analítica de los datos magnéticos

Para observar las diferentes contribuciones que se obtienen en el mapa de Anomalía Magnética, se realizó la separación regional- residual por los métodos de superficies polinómicas (Figuras 3.24 y 3.25) y continuación analítica del campo (Figuras 3.26 y 3.27).

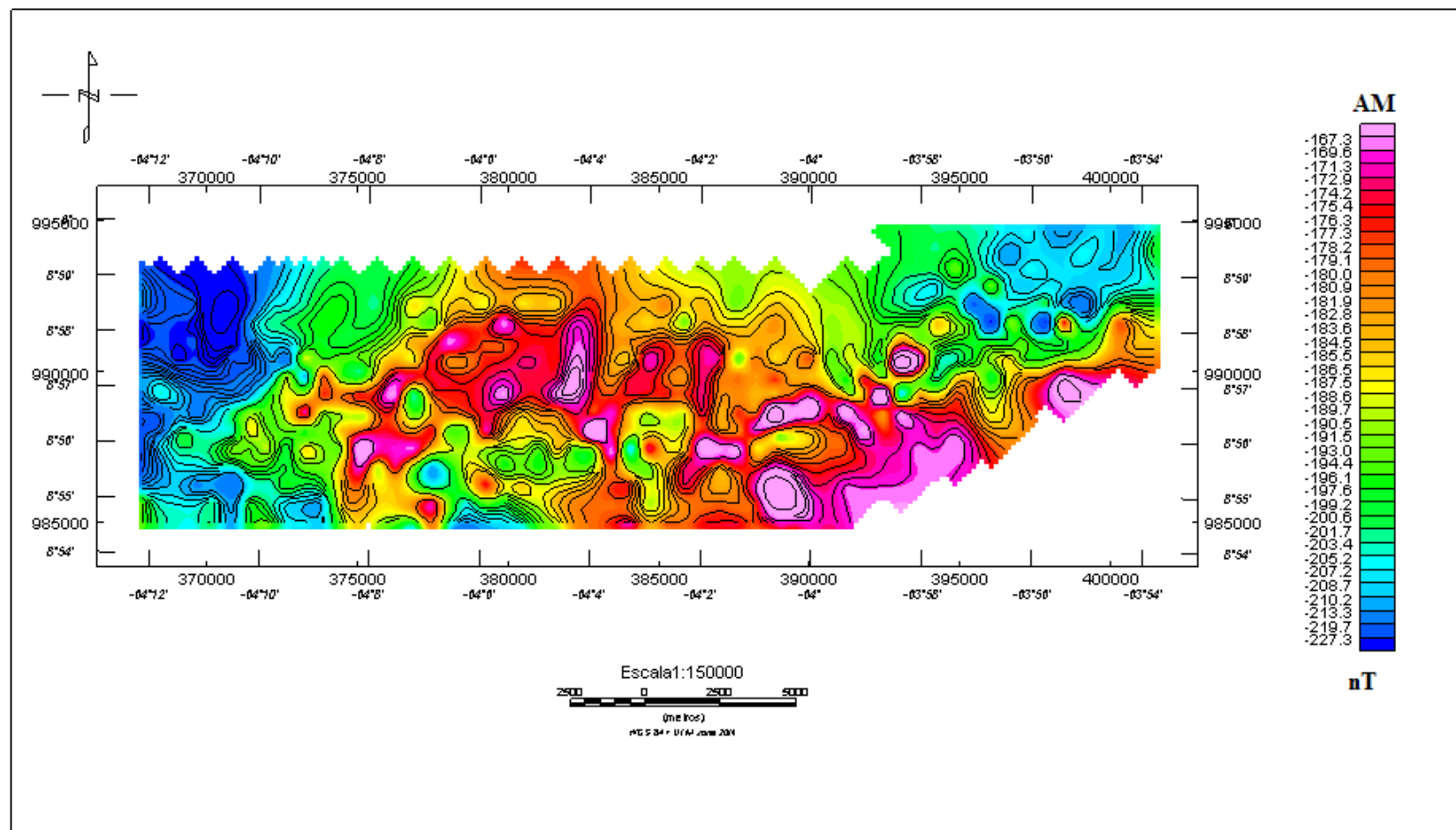
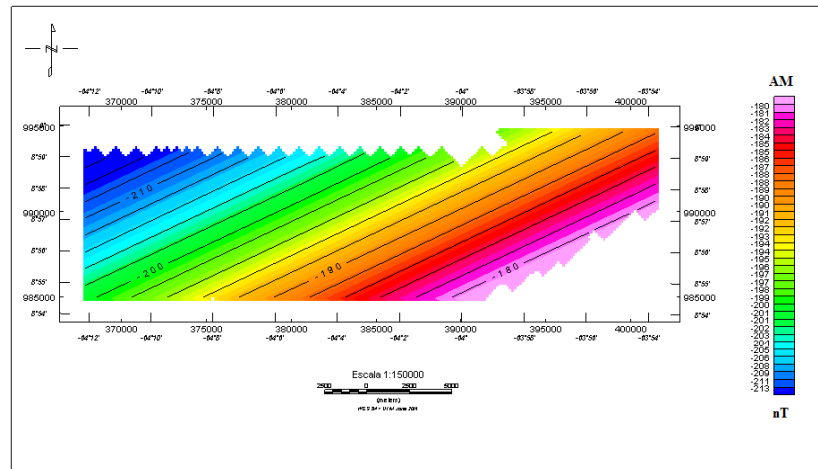
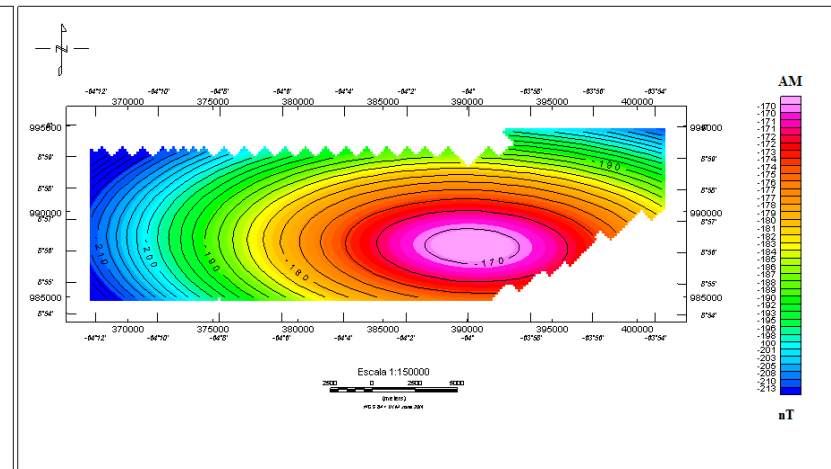


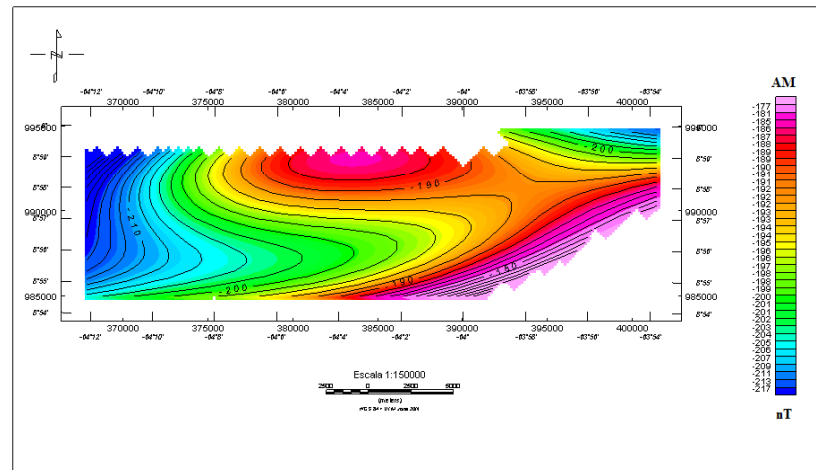
Figura 3.23: Mapa de Anomalías Magnéticas.



a)



b)



c)

Figura 3.24. Mapa regional de anomalía magnética de : a) 1er grado, b) 2do grado y c) 3er grado por superficies polinómicas.

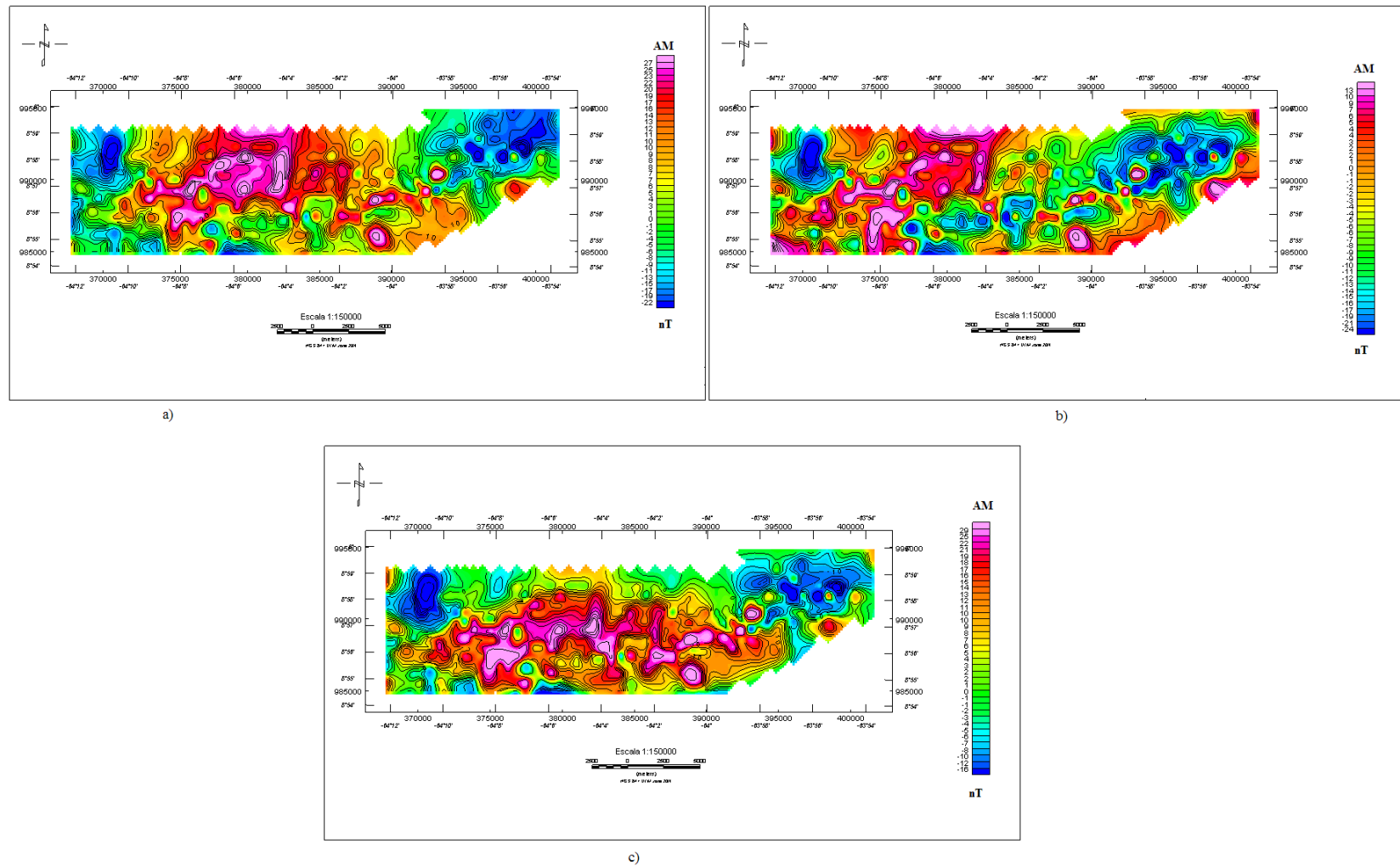


Figura 3.25: Mapa Residuales de anomalía magnética de: a) 1er grado, b) 2do grado y c) 3er grado por superficies polinómicas.

Mediante el gráfico “Coeficiente de determinación vs. Grado del Polinomio” se realiza la selección de la superficie polinómica, obteniendo como resultado que el polinomio de 3er grado es el que mejor se ajusta a la distribución de los datos (Apéndices E y F), debido a las correspondencias regionales de éstos con las estructuras presentes en el área, tal y como se comprueba al comparar los mapas de las figuras 3.2, 3.3 y 3.26.

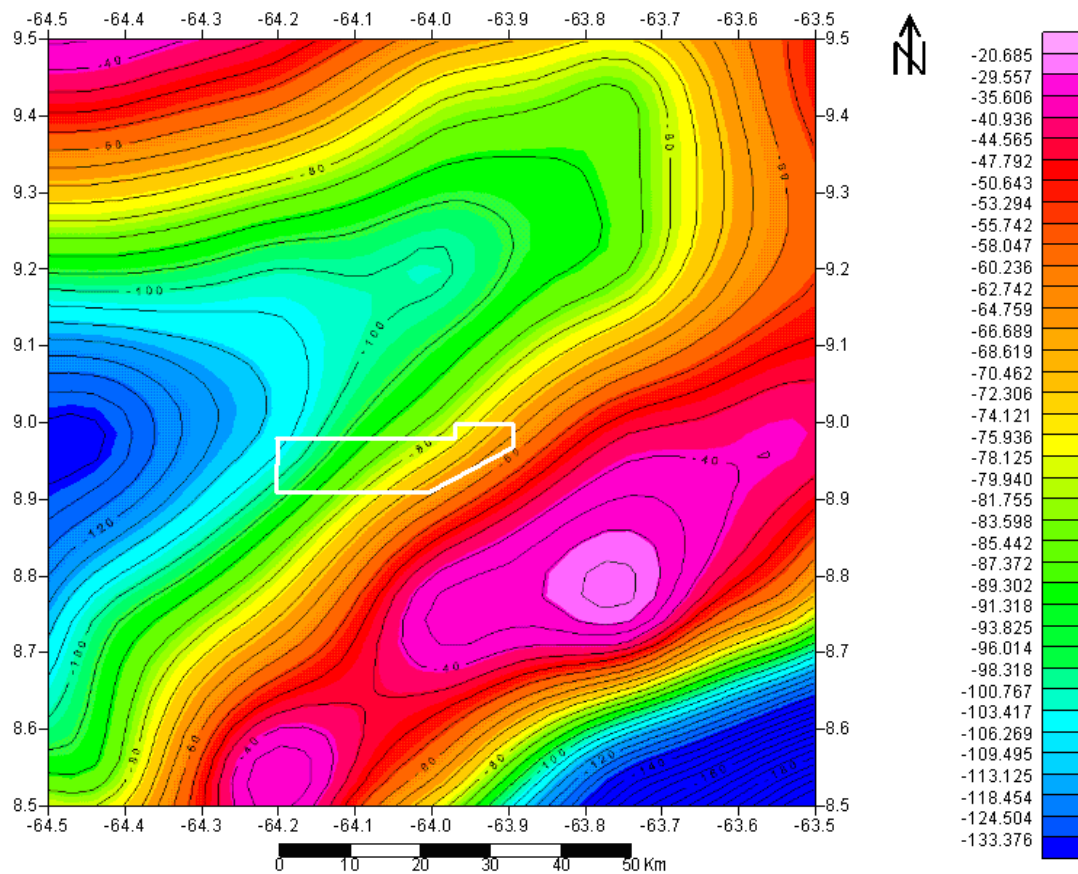


Figura 3.26: Imagen satelital de anomalía magnética generada a partir del módulo DAP del Oasis Montaj.

En la Tabla 3.5 se indican los valores del coeficiente de determinación para cada una de las superficies calculadas cuyos valores se representan en la figura 3.27.

Tabla 3.5: Valores de coeficientes de determinación para los datos magnéticos

Grado del Polinomio	Bondad de Ajuste (%)
1	21.18
2	55.52
3	64.34

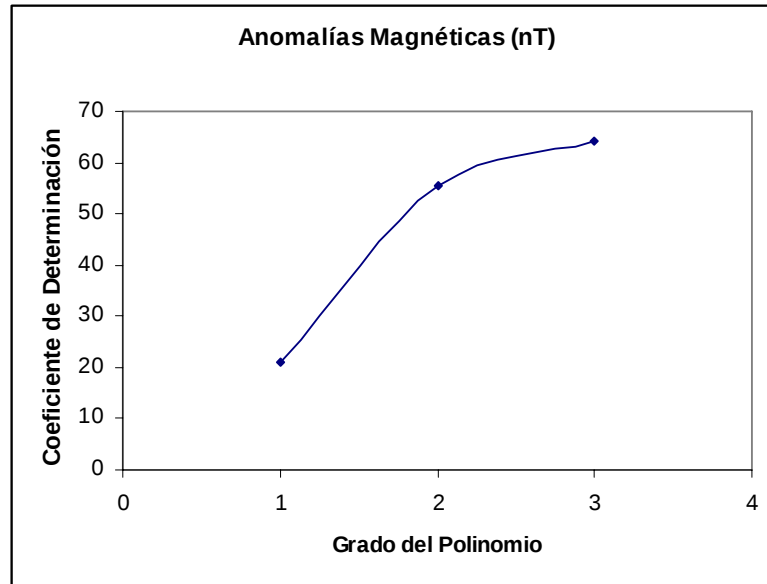


Figura 3.27: Gráfico de coeficiente de determinación Vs grado del polinomio para datos de anomalías magnéticas.

A través del método de continuación analítica del campo hacia arriba se realizaron los mapas regionales (figura 3.28) y residuales (figura 3.29) de la Anomalia magnética a diferentes alturas (1000 m, 2000 m, 3000 m y 5000 m), para así poder observar el comportamiento regional sin ningún tipo de efectos locales, de los cuales se determinó que los mapas de 5000 m de altura son los más representativos de las características regionales presentes en el área..

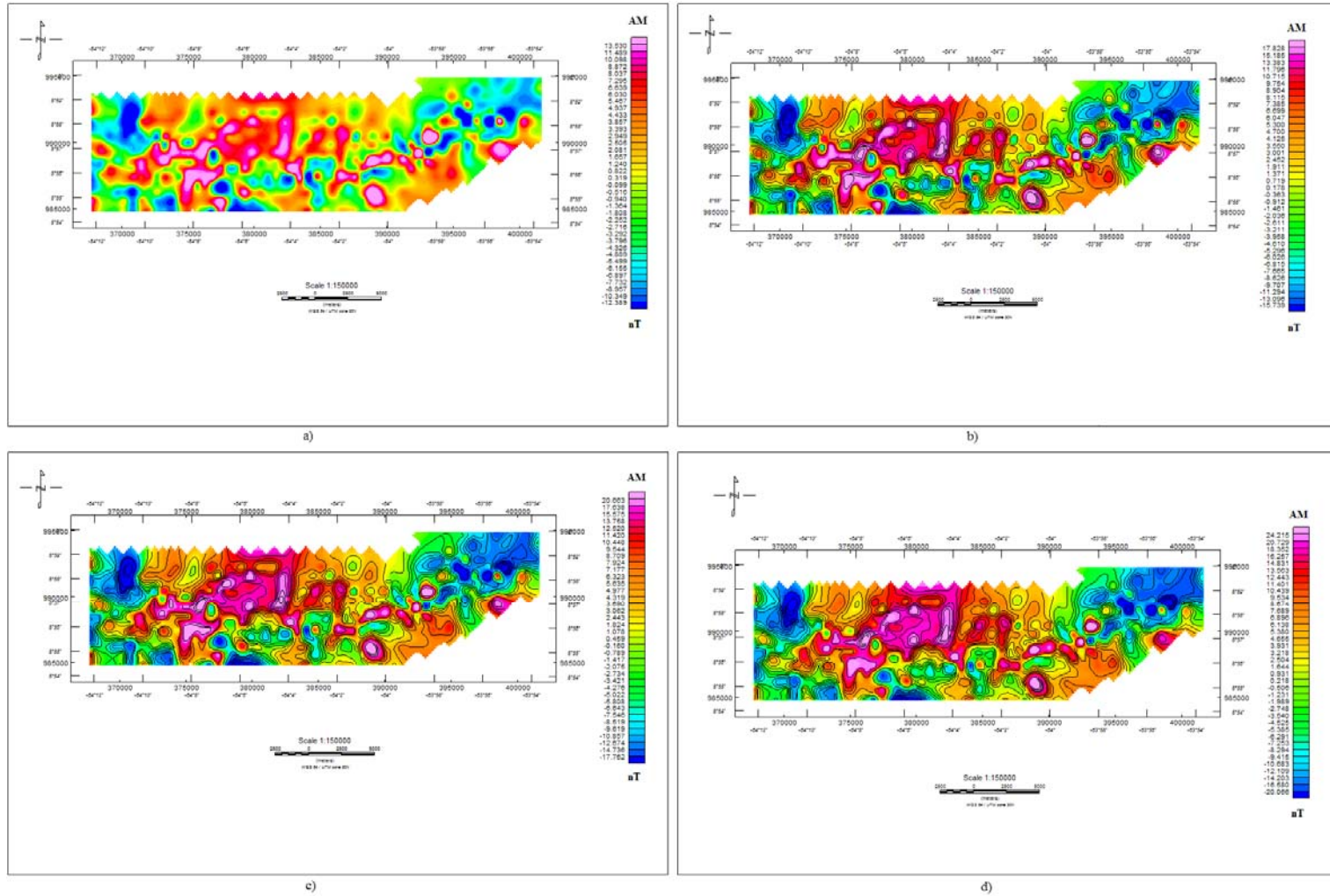


Figura 3.29: Residual de la continuación analítica ascendente de la anomalía magnética para: a) 1000 m, b) 2000m, c) 3000m y d) 5000m.

3.6.2.- *Análisis espectral de los datos magnéticos*

En las figura 3.30 y 3.31 se muestra el análisis espectral de los datos de Anomalía Magnética, donde se puede observar los cambios en la pendiente de la curva que definen las profundidades de las diferentes fuentes causante de la respuesta magnética.

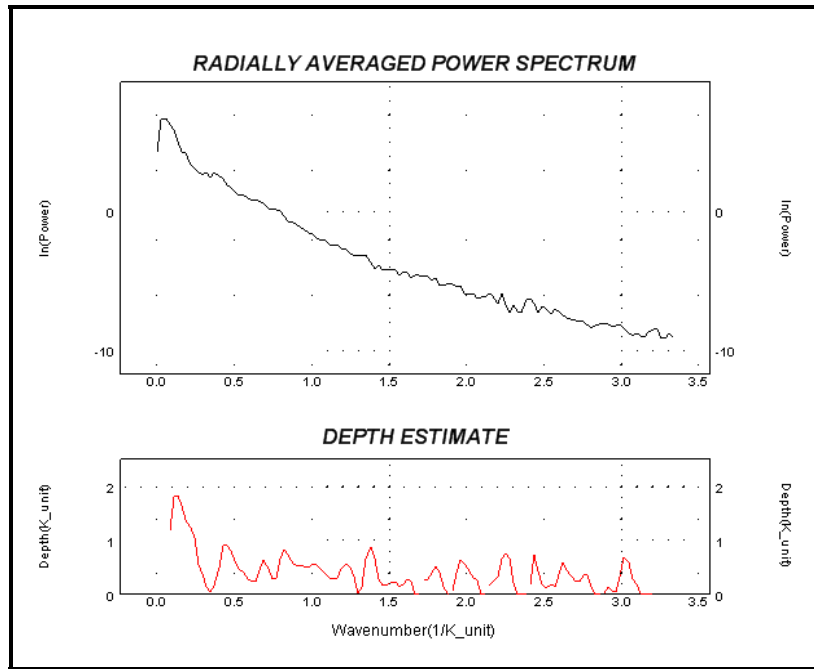


Figura 3.30: Análisis espectral de los datos de anomalía magnética

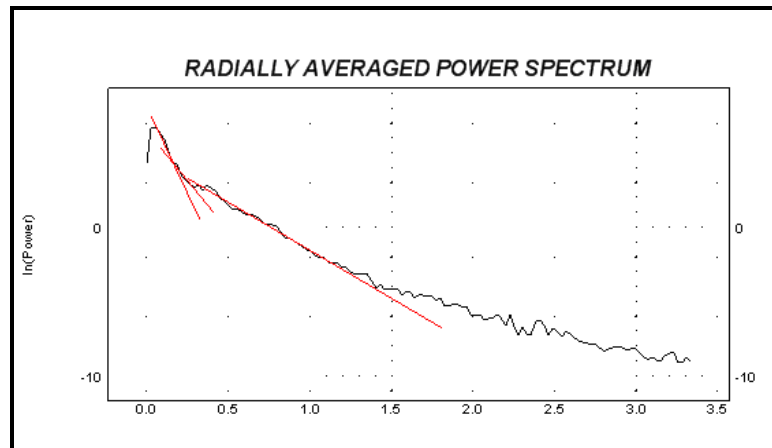


Figura 3.31: Gráfico interpretado de análisis espectral de anomalía magnética.

Finalmente, se obtienen los valores de profundidad estimada por el análisis espectral de los datos de anomalía magnética que se indican en la tabla 3.6:

Tabla 3.6: Profundidades estimadas de las fuentes anómalas a partir del análisis espectral de los datos de anomalías magnéticas.

Fuente	Profundidad (Km.)
Profunda	2.786
Intermedia	2.645
Somera	0.784

3.6.3.- Deconvolución de Euler de los datos magnéticos

Se produjo el mapa de localización en profundidad de las fuentes de anomalías magnéticas (figura 3.32), el cual fue generado con un error de 15%, un tamaño de ventana de 200 m y un índice estructural de 1, el cual resalta bordes de planos, que es concordante con los rasgos estructurales presentes en la zona..

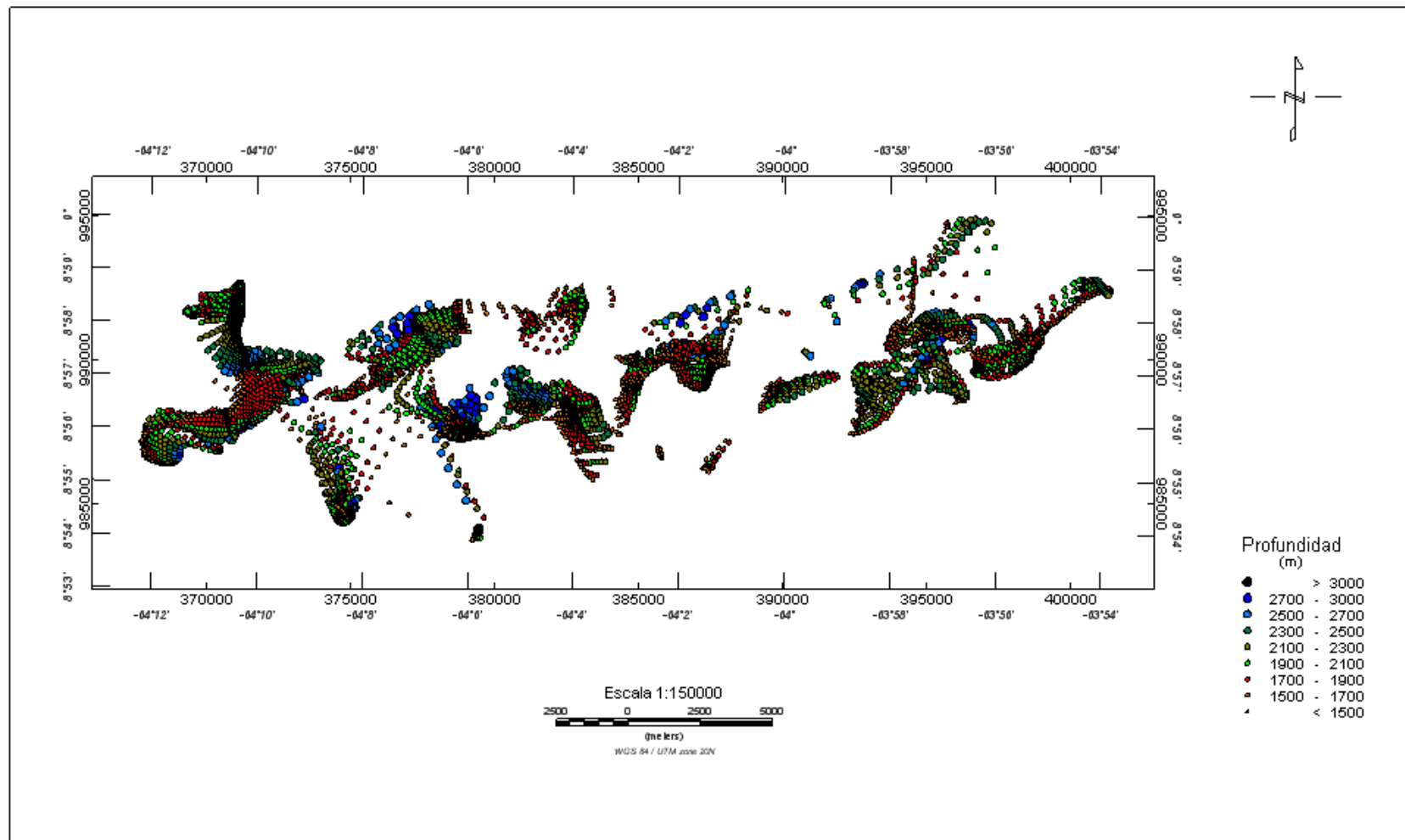


Figura 3.32: Mapa de ubicación en profundidad de las posibles fuentes de anomalías magnéticas.

CAPÍTULO IV

4.- INTERPRETACIÓN INTEGRADA

4.1.- Análisis de resultados gravimétricos

Las anomalías de Bouguer observadas en el campo Guara Este presentan en términos generales una tendencia regional con rumbo NO – SE. Sin embargo, al realizar un análisis más minucioso se observa una influencia de un efecto regional muy marcado, manifiesto por un rumbo preferencial de dirección aproximada de N75°O, cuyo valores de anomalías disminuyen hacia noreste con un buzamiento N15°E y un suave gradiente de -0.54mgal/Km, variando desde el suroeste con valor de -63.2 mgal hasta noroeste con -43.5 mgal.

El área esta representada estructuralmente por un homoclinal de rumbo generalizado NO-SE que buza hacia el NE, se encuentra afectada por un sistema de fallas normales con rumbo EO y NO hacia el norte y sur de la cuenca, generando estructuras tipo “Horst” y graben producto del desarrollo de la cuenca antepaís de la subcuenca de Maturín (FAJARDO, 2003)

Este efecto regional refleja las características del basamento cristalino y el espesor de los sedimentos en la zona, evidenciando la profundización de la Cuenca Oriental de Venezuela con dirección hacia el noreste, tal y como se verifica al comparar las tendencias regionales de las anomalías de Bouguer (figuras 3.11b, 3.14 y 3.15d) con los mapas estructurales (figuras 3.2 y 3.3).

El análisis espectral y la deconvolución de Euler coinciden con la información geológica y estructural disponible de la región debido a que las profundidades estimadas mediante estas técnicas están en el orden de 630m para las fuentes someras (asociada principalmente a la Formación Freites), 2510m para las fuentes intermedias (asociada a la discordancia basal o Cretácica que se correlaciona con el tope del Grupo Temblador) y 2840m para las fuentes profundas (asociada al basamento cristalino).

Por otra parte, al estudiar el comportamiento residual de las anomalías gravimétricas, se distinguen tres áreas principales: dos máximos locales ubicados al suroeste y sureste, y un mínimo local de -1.62mgal ubicado en el área central y norte del proyecto. Tales respuestas se atribuyen a una depresión en el basamento asociada a un sistema de fallas (tales como la Falla Piarra y Guara Leona), corrimientos, anticlinales y sinclinales presentes en el área y que están muy estrechamente relacionados con la Depresión de El Tigre, ubicada hacia el noroeste del Campo Guara Este.

4.2.- Análisis de resultados magnéticos

Las anomalías magnéticas observadas en el campo Guara Este, en contraste con las anomalías gravimétricas, poseen un comportamiento muy influenciado por la presencia de respuestas de alta frecuencia magnética, representada por la abundancia de mínimos y máximos locales de relativa baja intensidad. Esta característica es igualmente observable en los mapas residuales. Los valores de anomalías varían desde $-227.33\text{ }\eta\text{T}$ hasta $-167.28\text{ }\eta\text{T}$. Los mínimos locales se encuentran, en su mayoría distribuidos hacia las zonas oeste y noreste del área, mientras que la mayoría de los máximos locales se encuentran ubicados en la zona central. La disminución de las anomalías magnéticas hacia el noroeste se encuentra asociada a la Depresión de El Tigre la cual se estima en una profundidad cercana a los 2700m , de acuerdo al mapa de interpretación aeromagnético mostrado en la figura 3.3. Hacia el noreste, la disminución de las anomalías parece estar asociada al sistema de fallas y sinclinales y ubicados hacia el norte del Campo Guara Este. Mientras que el alto magnético observado en la zona central podría estar asociado a efectos de polarización magnética local, asociados a la presencia de gneis e intrusiones graníticas en el basamento, posiblemente de la Formación Imataca tal como lo señala Dougan (1972).

La repuesta regional de las anomalías magnéticas define un rumbo preferencial de N30°E aproximadamente, con un gradiente en dirección N70°O que disminuye las anomalías hacia el noroeste a razón de -2.7nT/Km, variando desde el sureste con valor de -184nT hacia el noroeste con -218 nT. Esta tendencia regional refleja las características del basamento magnético y la relación con las principales estructuras presentes en el área.

El análisis espectral y la deconvolución de Euler de los datos magnéticos también son consistentes con la información geológica y estructural de la región, ya que las profundidades estimadas están en el orden de 700m para las fuentes someras (asociada principalmente a la Formación Freites), 2640m para las fuentes intermedias (asociada a la discordancia basal o Cretácica que se correlaciona con el tope del Grupo Temblador) y 2780m para las fuentes profundas (asociada al basamento cristalino), con lo cual se comprueba la exactitud y precisión en la estimación de profundidades mediante el empleo de estas técnicas.

Cabe considerar que las profundidades estimadas a través del análisis espectral de los datos gravimétricos y magnéticos, están estrechamente relacionadas entre sí y que las fuentes del campo potencial son las mismas (Tabla 3.3 y 3.6), ya que la fuente profunda en cada caso, se puede asociar a la profundidad del basamento cristalino, que varía entre 2.786 y 2.846 km. Por otra parte, la fuente intermedia puede corresponder a la discordancia basal de antepaís o cretácica, marcada por una superficie erosional que coincide con la base de la Fm. Merecure, con una profundidad aproximada de 2.514-2.645 km; y finalmente la fuente somera asociada con la Fm. Freites que representa un marcador de sedimentos arcillosos y lutíticos, cuyas profundidad se encuentra entre los 0.636 -0.784 Km.

4.3.- Integración de resultados

Luego de integrar la información proveniente de la interpretación gravimétrica – magnética se propone un modelo del subsuelo conformado por siete perfiles estructurales, apoyado en la información geológica y de registros de pozo disponible, así como de los resultados obtenidos a partir del análisis espectral y deconvolución de Euler de los datos gravimétricos y magnéticos. La ubicación y orientación de los perfiles se muestra en la figura 4.1.

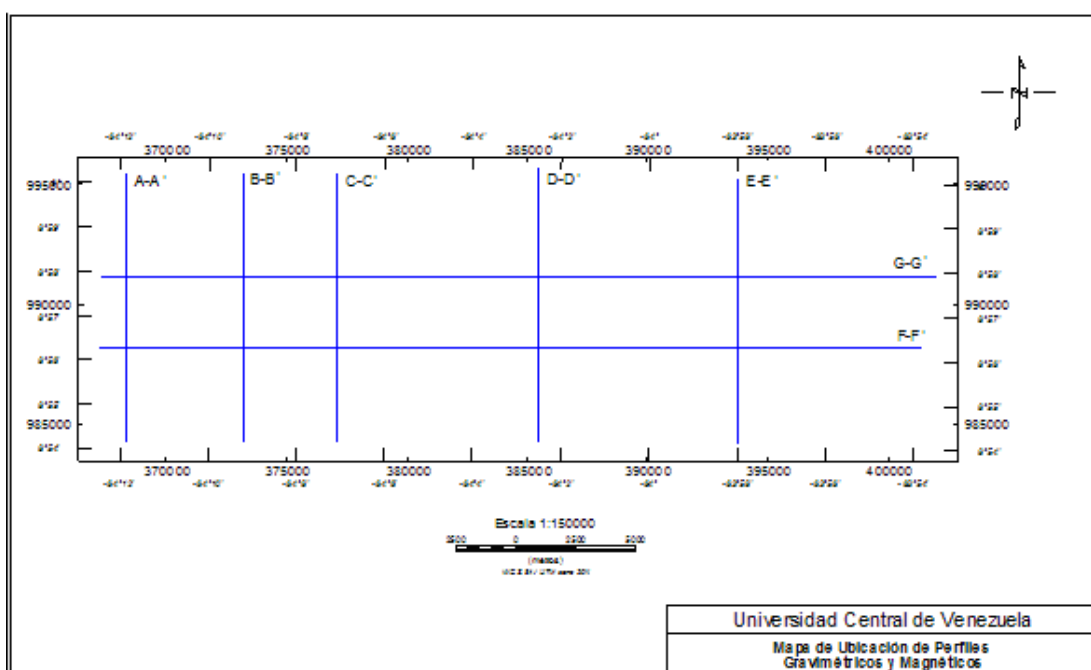


Figura 4.1. Ubicación de perfiles estructurales.

4.4.- Perfiles estructurales del subsuelo en el Campo Guara Este

Se realizaron siete secciones estructurales del subsuelo a partir del modelaje gravimétrico – magnético mediante el uso del módulo GM-SYS del programa Oasis Montaj. Los parámetros a considerar para el modelaje gravimétrico fueron las densidades (tabla 4.1) y espesores de cada una de las formaciones, mientras que los parámetros considerados para el modelaje magnético fueron los valores de magnetización, susceptibilidad y magnética asociados a cada formación de acuerdo a

la información mostrada en la tabla 4.2. Los espesores utilizados en el modelado de los perfiles fueron obtenidos a partir de registros de pozos, correspondientes a las formaciones terciarias, mesozoicas y paleozoicas. Para controlar los modelos se utilizaron las profundidades del basamento ígneo-metamórfico de acuerdo a la interpretación sísmica cerca del área. Para la discontinuidad de Mohorovicic, se emplearon las profundidades estimadas por Schmitz *et al.* (2005). El modelo geológico-estructural propuesto en los perfiles está constituido por las diferentes formaciones encontradas en la bibliografía. Las características geológicas de cada una de las secciones se explican a continuación:

El tope del basamento donde descansa toda la cobertura sedimentaria en la zona en estudio, que se presume debe estar asociado con la provincia Cuchivero, según análisis de núcleos en el área (Grande, 2007).

La heterogeneidad en las magnetizaciones propuestas en el modelo geológico para el basamento pueden ser explicados por la compleja conformación de toda la corteza continental, en especial en el caso del Escudo de Guayana, donde incluso en superficie están en contacto cuerpos ígneo-metamórficos autóctonos y terrenos alóctonos (Bartok, 2003).

La interfaz asociada al contacto entre el basamento ígneo-metamórfico y las formaciones sedimentarias suprayacentes determinan la componente de fuente profunda del análisis espectral gravimétrico-magnético, ubicado a 2.7 km de profundidad en promedio para toda el área.

Se representaron sistemas de fallas y geometrías de las formaciones obtenidas a partir de la información estructural del área (Porrás, 2003 y Salazar, 2002).

Tabla 4.1. Lista de densidades utilizadas para el modelaje gravimétrico

Formación	Densidad (gr/cm ³)
Mesa	2.0
Las Piedras	2.05
Freites	2.12
Oficina	2.23
Merecure	2.3
Grupo Temblador	2.4
Basamento	2.7

Tabla 4.2. Lista de parámetros utilizados para el modelaje magnético

Cuerpo o Formación	Susceptibilidad Magnética (10 ⁻⁶) emu	Magnetización (nT)
Fm. Mesa	-	-
Fm. Las Piedras	-	-
Fm. Freites	-	-
Fm. Oficina	150	0.00011
Fm. Merecure	500	0.0002
Grupo Temblador	1000	0.1
Corteza Superior	3500	0.2
Corteza Inferior	5000	0.3104
Manto	10600	0.56

Los perfiles estructurales obtenidos como producto del modelaje gravimétrico – magnético, se ilustran en las figuras 4.2 al 4.8.

Cabe destacar que de los siete perfiles, cinco poseen orientación S-N, los cuales poseen longitudes entre 6 a 7 Km, y dos (2) una orientación O-E con longitudes entre 28 y 33 km.

Los modelos geológicos estructurales conformados por las diferentes estructuras presentan un error de 0.055% aproximadamente entre las anomalías gravimétricas observada y calculada, mientras que en el caso magnético el error porcentual es de 2.87%. La tendencia regional de las anomalías de Bouguer en los perfiles es controlada por la interfaz entre la espesa capa de sedimentos y el basamento. La profundidad del basamento aumenta de sur a norte con un suave

buzamiento desde el Oeste hacia el Este con valores entre 2.5 y 3 Km. La presencia de fallas normales a lo largo de todos los perfiles que atraviesan la formaciones Freites, Oficina, Merecure y el grupo Temblador son coherente con los estudios de Porras (2003) y Salazar (2002).

Una vez obtenidos los perfiles estructurales, se procedió a combinar la información contenida en cada uno de ellos para generar un modelo espacial, del cual se puede verificar a grandes rasgos, la correspondencia no sólo de la estratigrafía presente en el área sino también los espesores determinados para cada una de las formaciones, a partir de la información geológica, los análisis espectrales y deconvolución de Euler. La figura 4.9 muestra diferentes ángulos o perspectivas que describen la disposición, geometría, litología y estructuras presentes en el subsuelo del área de estudio, conformando el modelo estructural propuesto en este trabajo de investigación

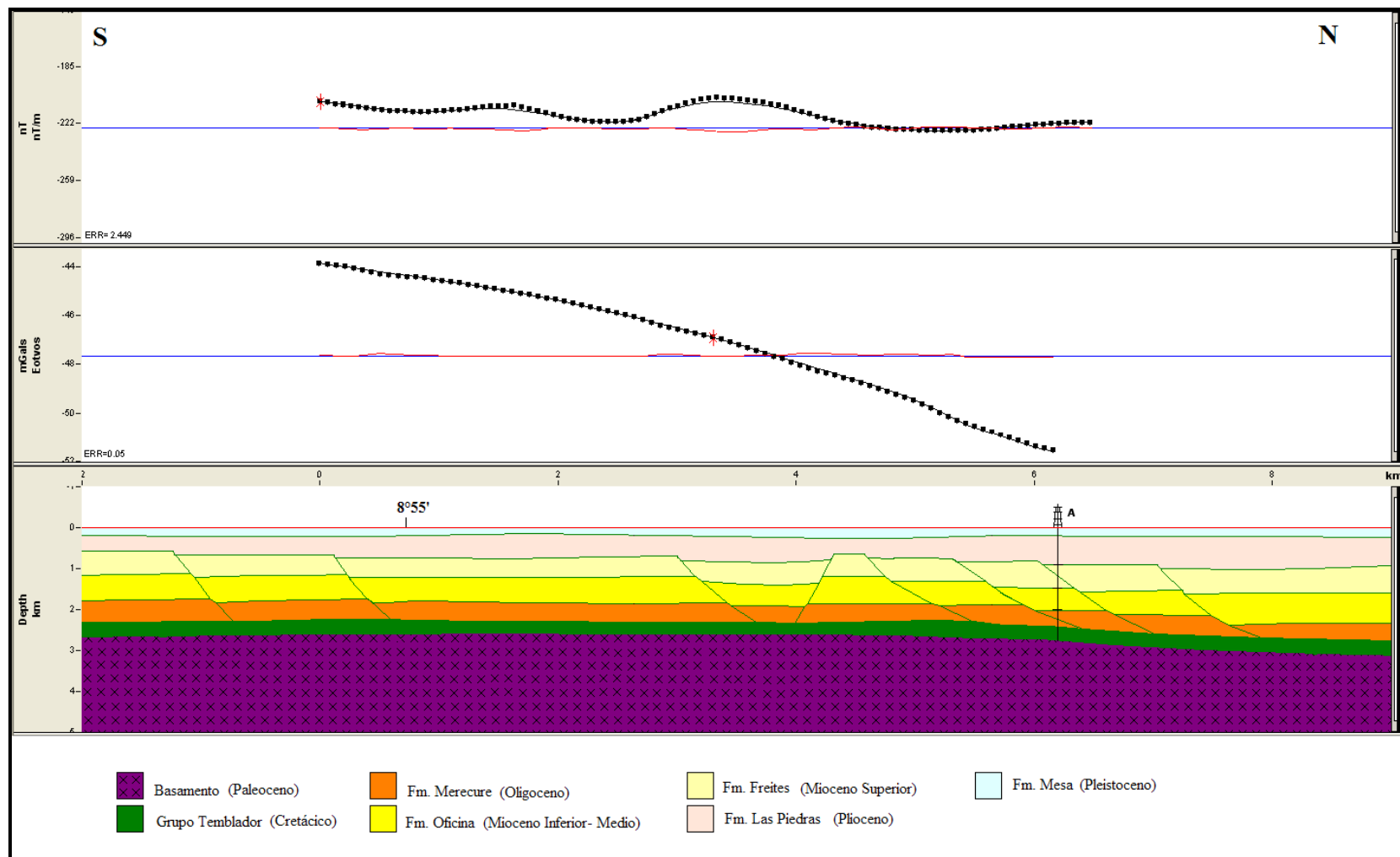


Figura 4.2. Perfil A-A'.

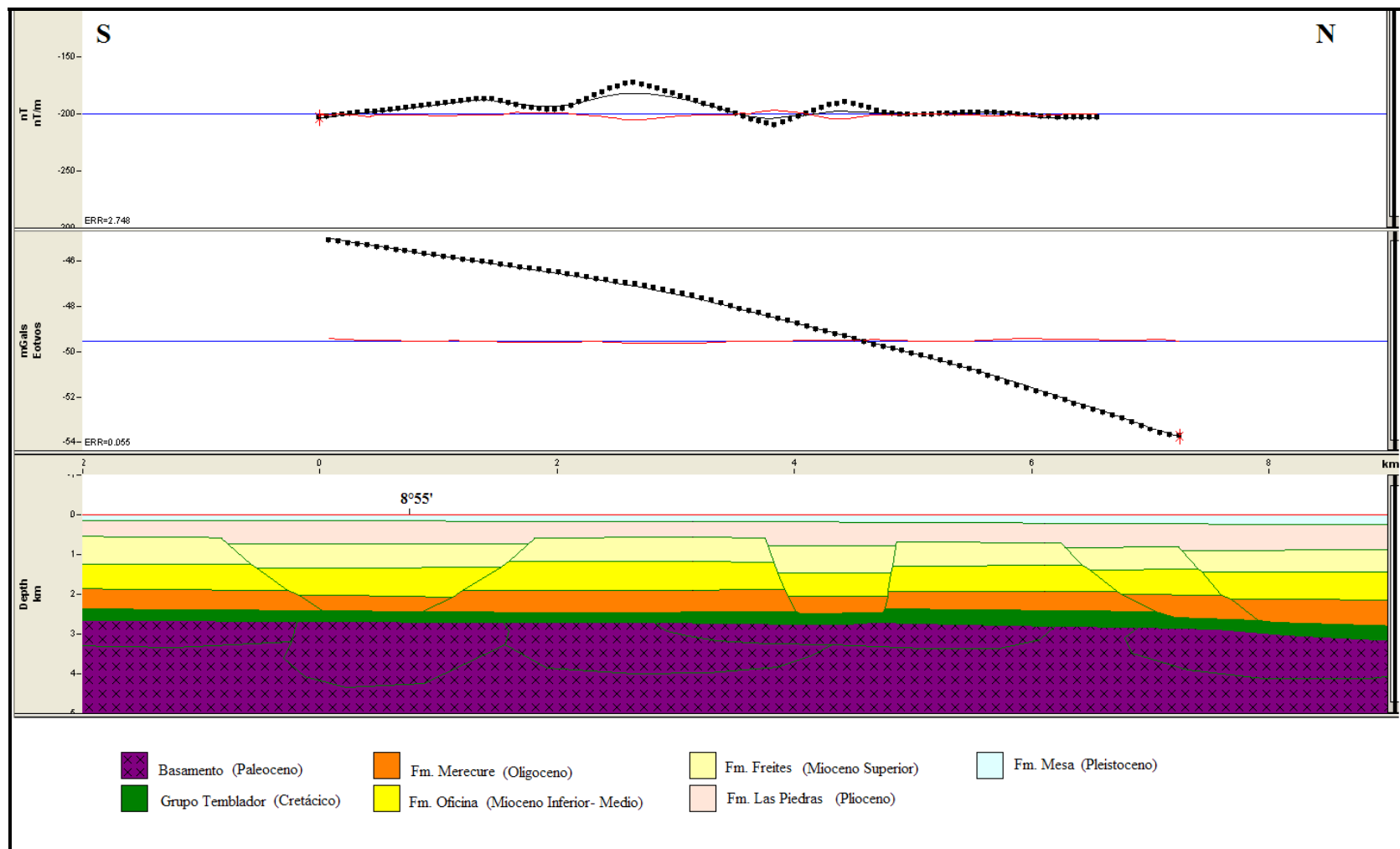


Figura 4.3. Perfil B-B'.

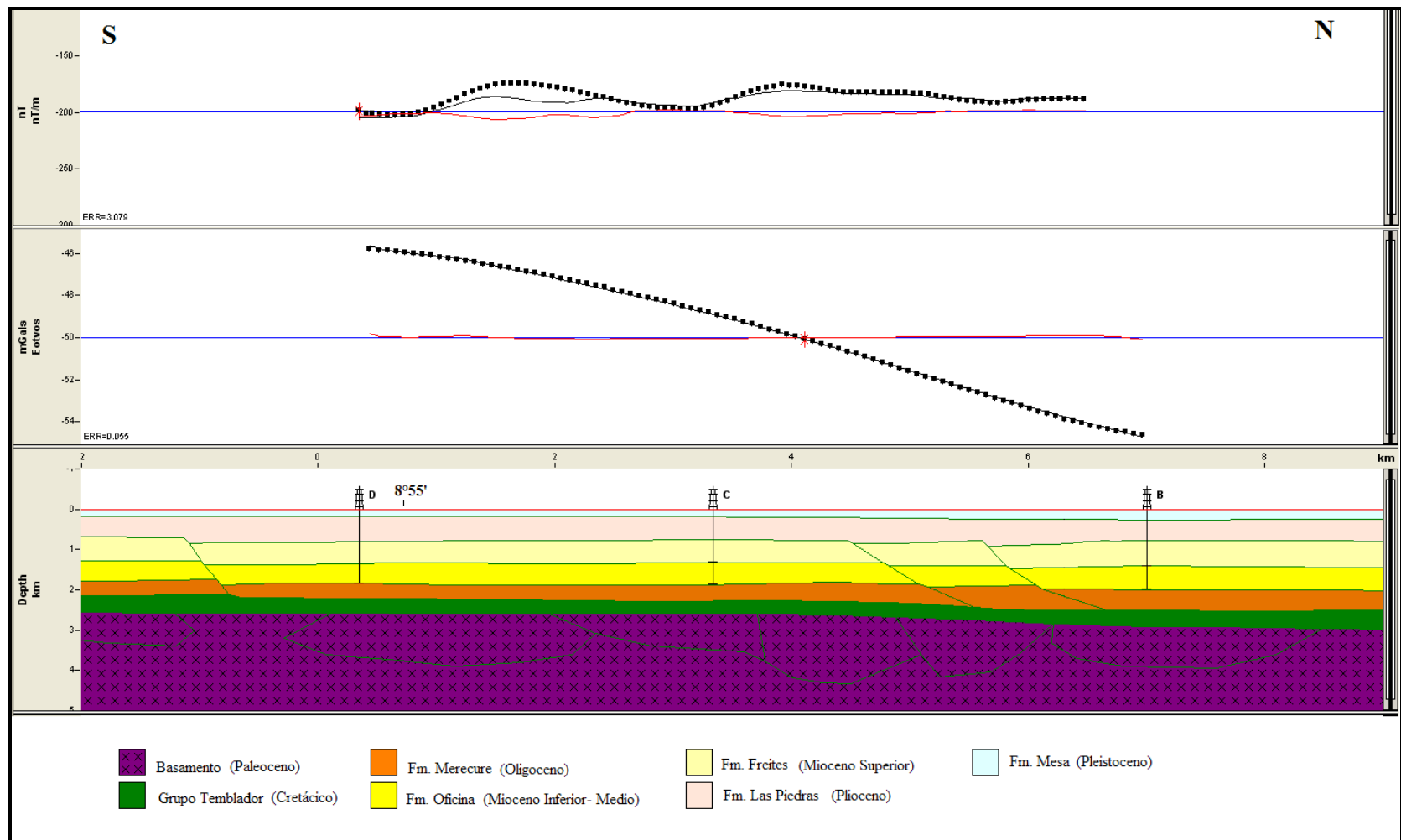


Figura 4.4. Perfil C-C'.

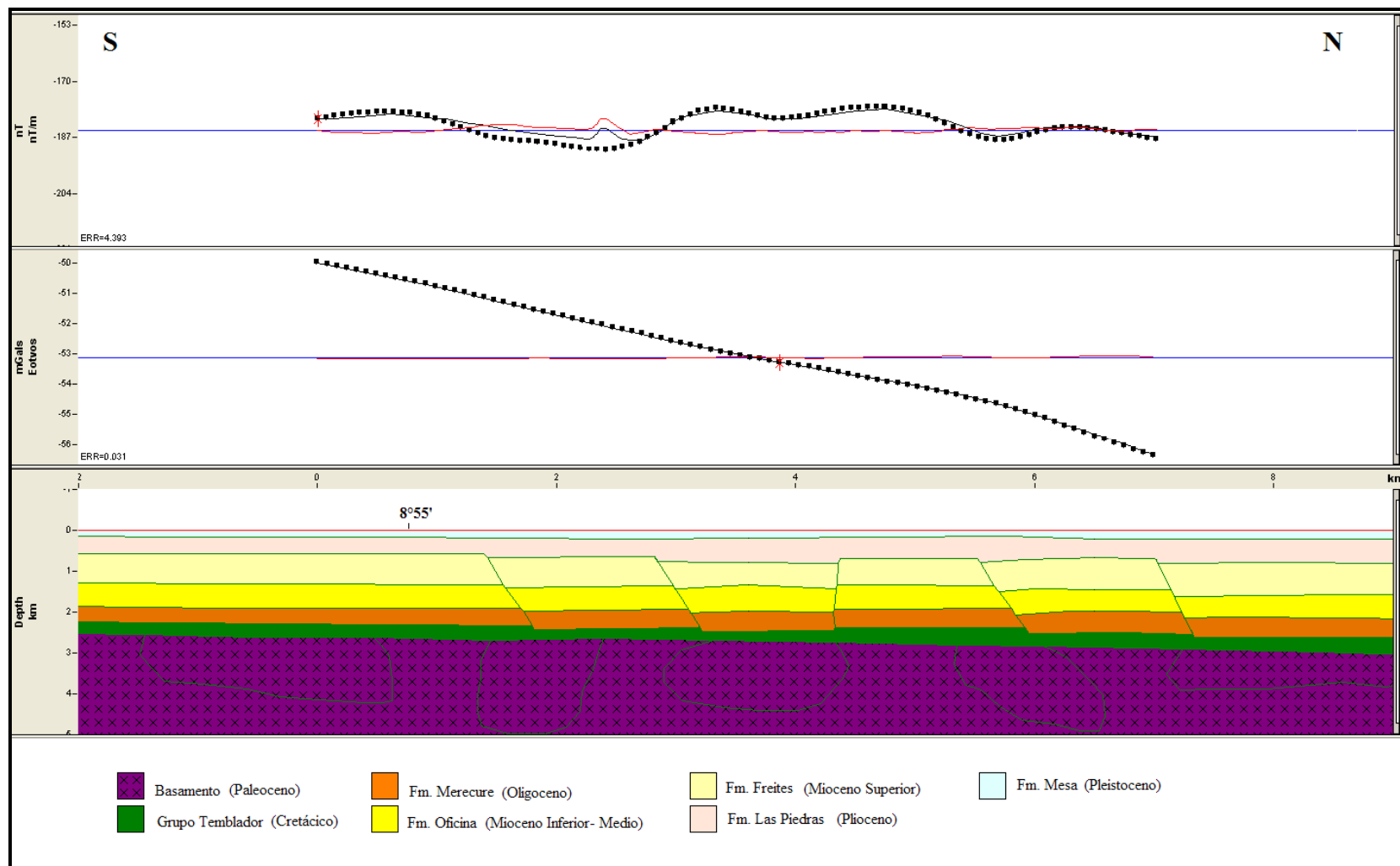


Figura 4.5. Perfil D-D'.

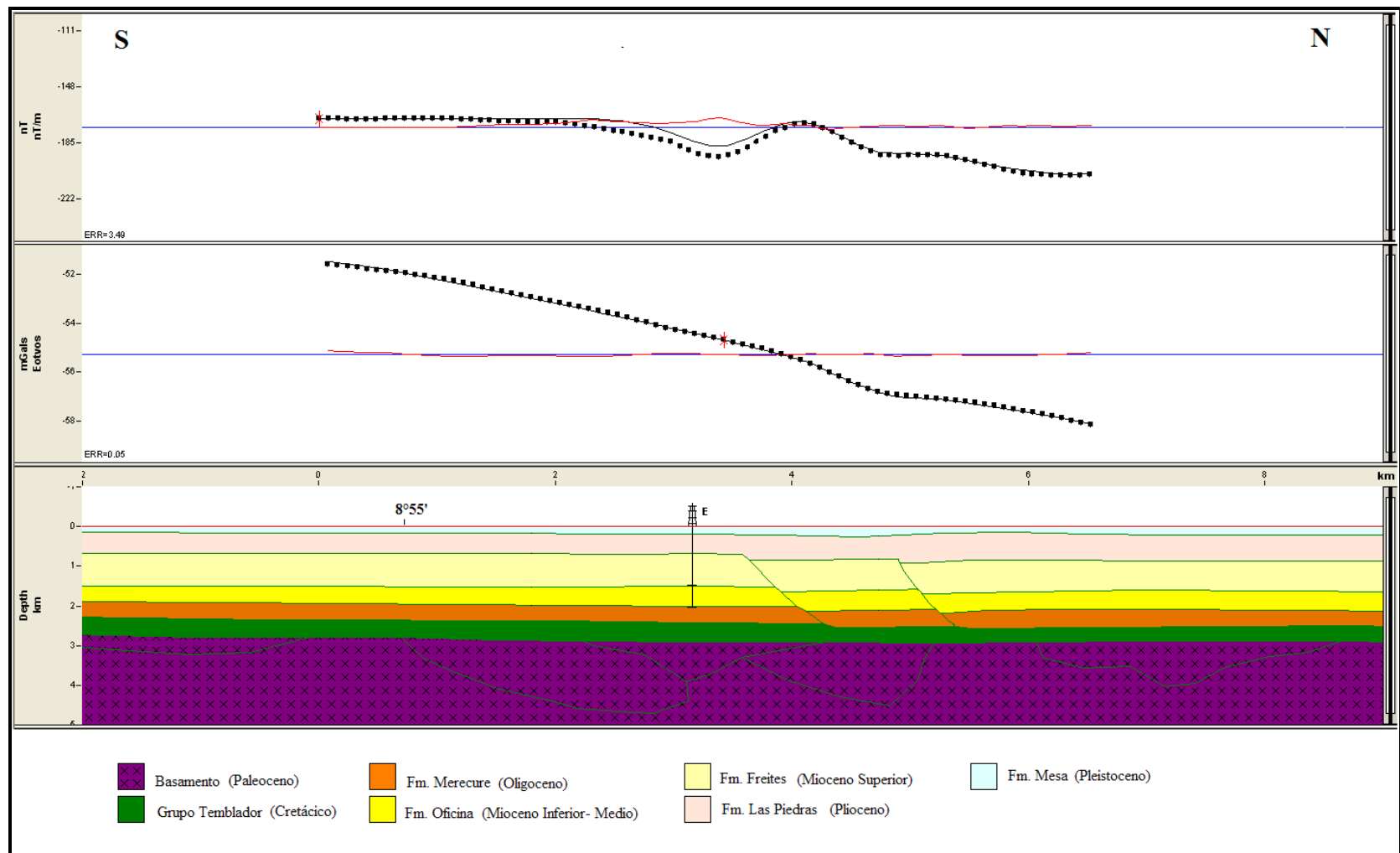


Figura 4.6. Perfil E-E'.

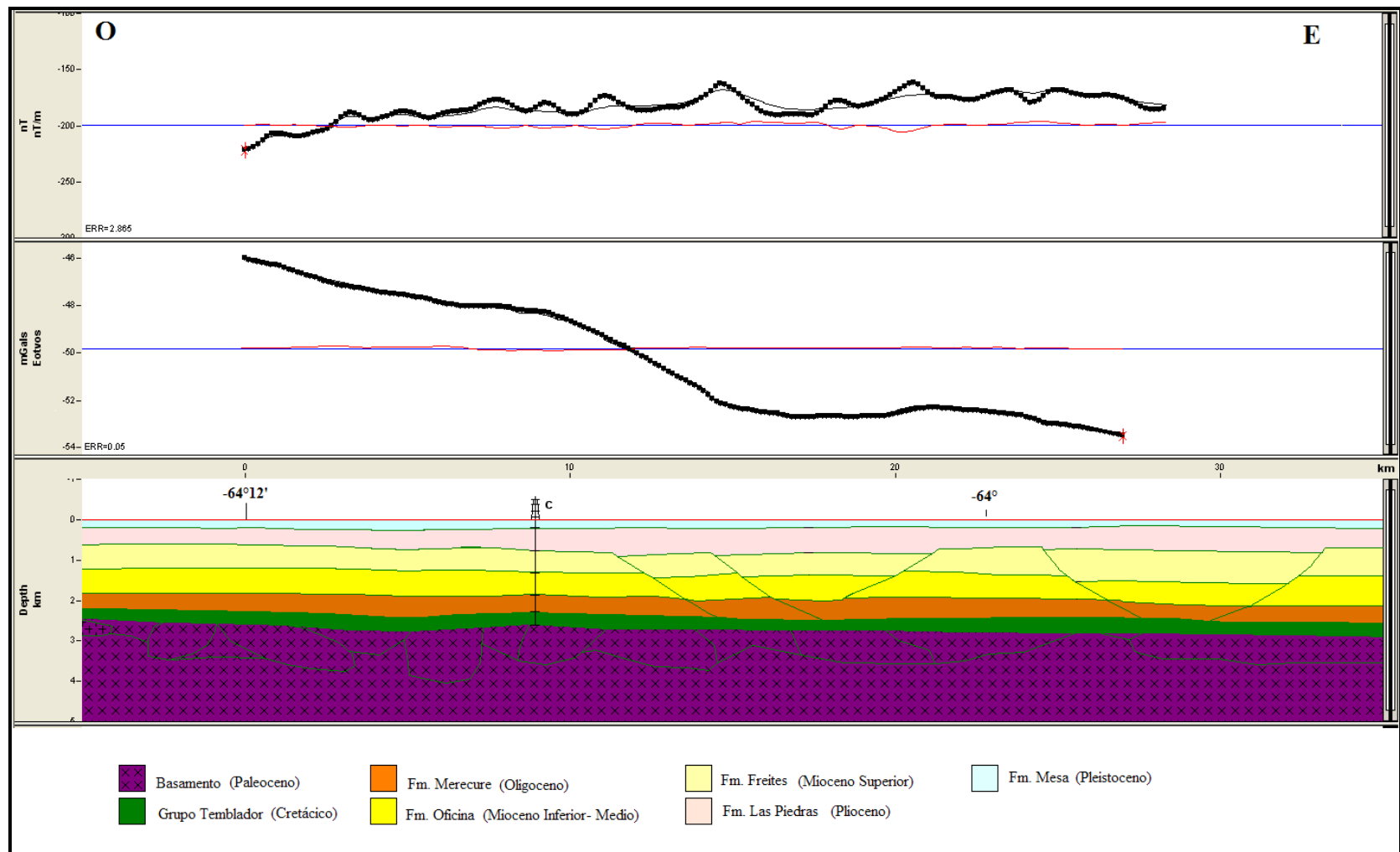


Figura 4.7. Perfil F-F'.

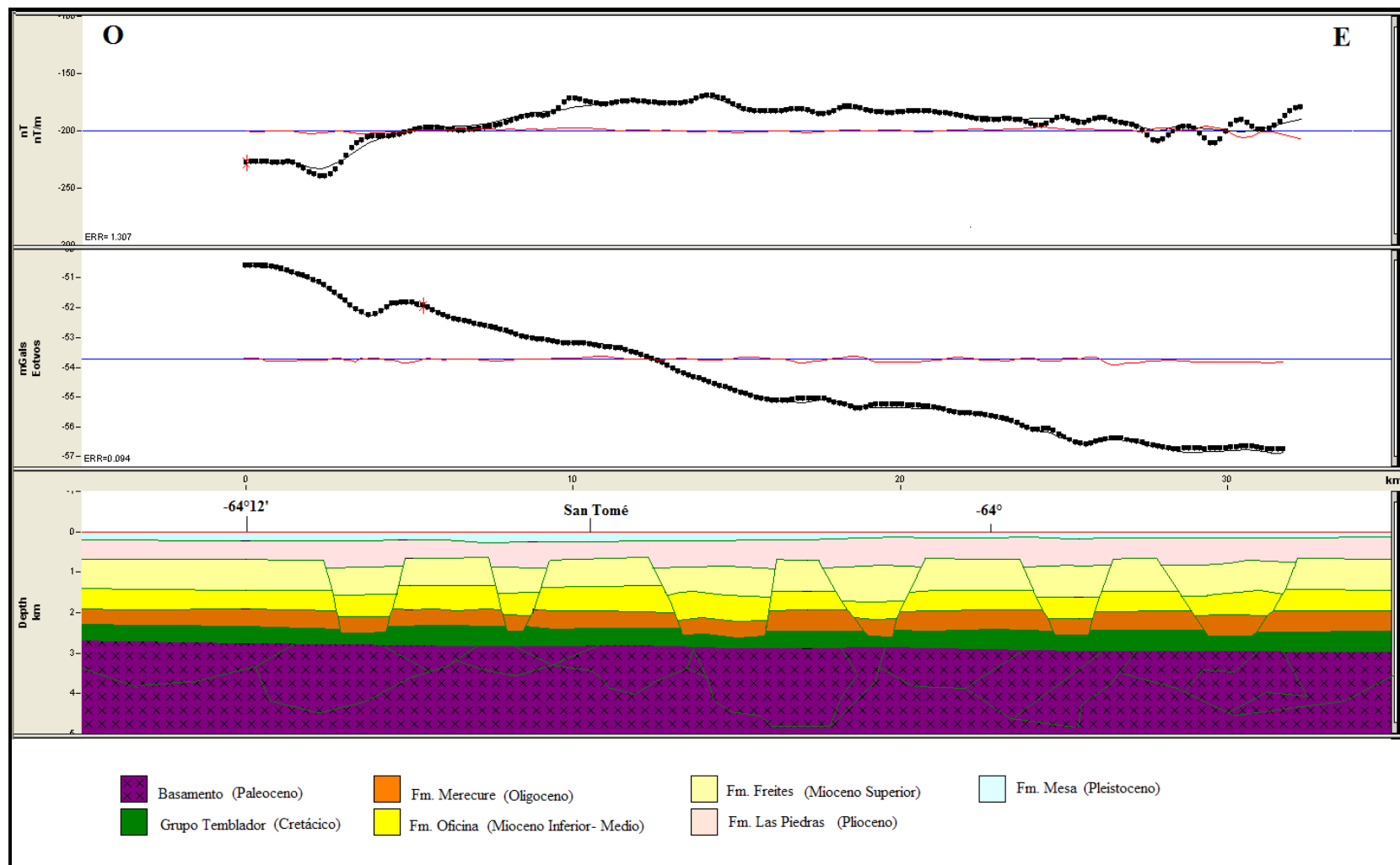


Figura 4.8: Perfil G-G'

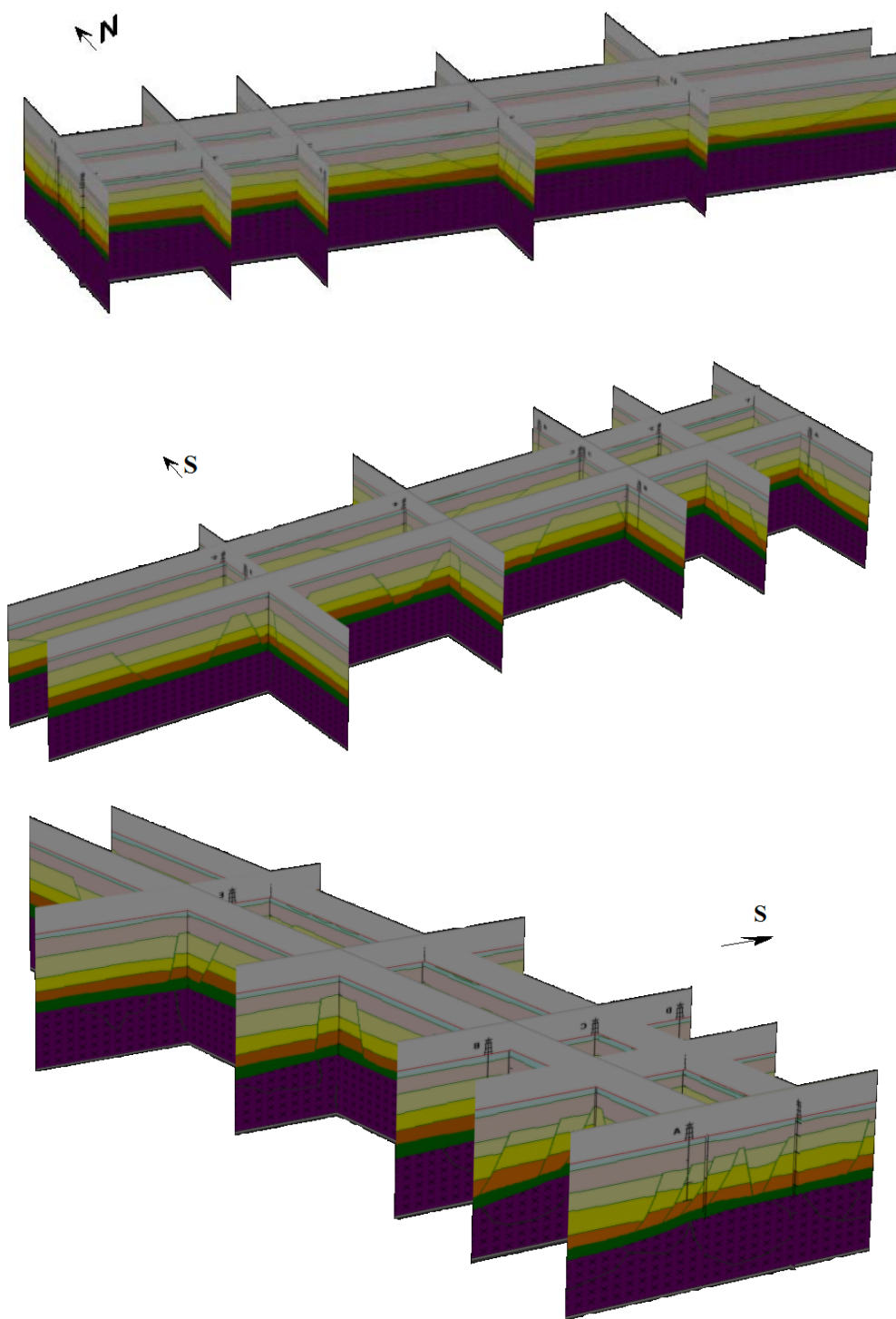


Figura 4.9: Vista en perspectiva de los perfiles estructurales

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis de los resultados obtenidos de la integración de información geológica y geofísica, como resultado de la interpretación de los mapas de anomalías gravimétricas y magnéticas, así como las estimaciones de profundidades y generación de modelos estructurales, se puede concluir lo siguiente:

- El estudio estadístico permitió deducir una clara distribución normal de frecuencia en los datos de Anomalía de Bouguer y Anomalía Magnética en el área de estudio, en base a ello se realizó el análisis de superficies polinómicas y continuación ascendentes sin restricción estadística alguna.
- El mapa de Anomalía de Bouguer presentó una tendencia regional con rumbo NO – SE, cuyo valores de anomalías disminuyen hacia noreste con un buzamiento N15°E y un gradiente de -0.54mgal/Km, variando desde el suroeste con valor de -63.2 mgal hasta noroeste con -43.5 mgal, que coincide con el buzamiento del basamento cristalino en la zona.
- La tendencia regional de las anomalías magnéticas muestra un rumbo preferencial de N30°E, con un gradiente de -2.7nT/Km que disminuye hacia el noroeste, variando desde el sureste con valor de -167.28 nT hacia el noroeste con -227.33 nT. Esta tendencia regional refleja las características de la propiedades magnéticas del basamento y la relación con las principales estructuras presentes en el área
- Las tendencias regionales obtenidas en los mapas de anomalías de Bouguer y anomalías magnéticas por los métodos de continuación analítica del campo y superficies polinómicas se corresponden con las tendencias regionales observadas en los mapas geológicos y estructurales del área, como una expresión geológica de la profundización de la Cuenca Oriental de Venezuela.

- La disminución hacia el noroeste de las anomalías magnéticas se encuentra asociada principalmente a la respuesta del basamento magnético, asociado a la proximidad de la Depresión de El Tigre.
- Mediante la aplicación del análisis espectral y la deconvolución de Euler de los datos gravimétricos y magnéticos, se pudo estimar que la profundidad del basamento se encuentra entre 2.7 y 3 km. en el área de estudio, la cual muestra gran correspondencia con información de diferentes autores que han realizado estudios previos cerca del área.
- Por medio de el análisis espectral de los datos gravimétricos y magnéticos se determinó la componente de fuente intermedia a 2.5 km de profundidad en promedio para toda el área, que coincidió con la discordancia basal o cretácica.
- Las fallas normales propuestas en los perfiles estructurales permitieron ajustar las respuestas gravimétricas y magnéticas, sustentadas en las observaciones que han reportado diferentes estudios realizados, cuya naturaleza es de origen distensivo y que han ocurrido mayormente en las secciones superior, media e inferior de la secuencia miocénica y cretácica.
- El modelo estructural propuesto muestra evidencias de un régimen extensivo, caracterizado por el sistema de fallas normales, que corta a las secuencias terciarias.
- Finalmente se recomienda realizar un estudio de interpretación sísmica estructural en el campo Guara Este, con el fin de correlacionarlo con los datos gravimétricos y magnéticos y reducir la incertidumbre en las secciones geológicas 2D propuestas.

- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS

AYMARD, R., L. PIMENTEL, P. EITZ, A. CHAOUCH, J. NAVARRO, J. MIJARES, y J. G. PEREIRA (1990) *Geological integration and evaluation of Northern Monagas, Eastern Venezuela basin*. En J. Brooks, ed., *Classic petroleum provinces: Geological Society of London Special Publication N° 50*, 37-53 p.

AZALGARA, C., D. SALAS, Y H. DE ALMEIDA. (2000). *Trampas de tipo pliegue de arrastre asociado a falla normal en la Fm. Oficina, área Oritupano Leona, Cuenca Oriental de Venezuela*. Memorias X Congreso Venezolano de Geofísica.

BARTOK, P. (2003). *The Peripheral Bulge of the Interior Range of the Eastern Venezuela Basin and its Impact on Oil Accumulations*. American Association of Petroleum Geologists (AAPG), Memoir 79, p. 925-936.

BURKE, K., C. COOPER, J. DEWEY, J. MANN y J. PINDELL (1984) *Caribbean Tectonics and relative plate motions*. Geol. Soc. Amer. Memoir 162. W.E. Bonini, R.B. Hargraves, and R. Shagam Editors, 31-64.

COLMENARES, A. (2007). *Modelo Estructural de Subsuelo generado a partir de la Integración de Datos Geofísicos en un Área Ubicada en el Campo San Cristóbal, Bloque Junín de la Faja Petrolífera del Orinoco* Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela.

DI CROCE, J., A. BALLY y P. VAIL, (1999) *Sequence stratigraphy of the Eastern Venezuelan Basin*. En Mann, P. (ed) *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World*, 4. Elsevier Science B.V., Amsterdam. 419-476 p.

DOUGAN, T. (1972) *Origen y metamorfismo de los gneises de Imataca y Los Indios, rocas precámbricas de la región de Los Indios - El Pilar, Estado Bolívar, Venezuela*. Bol. Geol. Pub. Esp. 5, 3, 1337-1548.

DUNCAN, R. y R. HARGRAVES (1984) *Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame*. Bulletin of the Geological Society of America, 162: 81-93.

ERLICH, R. y S. BARRET (1990) Cenozoic plate tectonic history of the northern Venezuela-Trinidad area. Tectonics, 9: 161-184.

ERLICH, R. y S. BARRET (1992) *Petroleum Geology of the Eastern Venezuela Foreland basin*. En: Foreland basin and Fold Belts, Edited by Roger W. Macqueen and Dale A. Leckie, Geological Survey of Canada. AAPG, Mem. 55. Oklahoma. pp: 341-362.

FAJARDO A. e I. LORENZO. (2003) Delimitación de arenas gasíferas superiores del Área Mayor de Oficina mediante la interpretación sísmica 3D. Guico Guara. Cuenca Oriental de Venezuela, estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela.

FEO-CODECIDO, G., F. SMITH, N. ABOUD y E. DI GIACOMO (1984) *Basement and Paleozoic rocks of the Venezuelan llanos basins*. Geol. Soc. Am., Mem. 162: 175-187.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., J. A. AROZENA y X. PICARD CADILLAT (1980) *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. Caracas, Venezuela. Ediciones Foninves, 2V.

HEDBERG, H. D. (1950) Geology of the Eastern Venezuela basin (Anzoátegui-Monagas-Sucre-eastern Guárico portion. Geol. Soc. Am., Bull., 61(11): 1173- 1216.

HEDBERG, H. D. y H. J. FUNKHOUSER (1947) *Oilfields of the Greater Oficina Area, central Anzoátegui, Venezuela*. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 31(12): 2089-2169.

HUNG, J. E. (1997) *Evaluación de Formaciones*. PDVSA-CIED.

MANN, P., C. SCHUBERT y K. KURKE (1990). *Review of Caribbean Neotectonics*, en DENG G y CASE J.E. *The Caribbean Region, Geological Society of America, The Geology of North America*, (Volume H): 307-338 p.

MESCHÉDE, M. (1998). *The absolute plate motion of the Caribbean Plate: constraints for a near- American origin*, Poster Abstract

MORRIS A. E. L, I. TANNER y H. A. MEYERHOFF (1990). Tectonics evolution of the Caribbean Region: Alternative hypothesis, en DENG G y CASE J.E. *The Caribbean Region, Geological Society of America, The Geology of North America*, Volume H: 433-457p.

OSTOS, M. (1990) Tectonic Evolution of the South – Central Caribbean based on Geochemical Data. Tesis de PhD, Rice University, Houston, TX, USA, 411p.

PARNAUD, F., Y., GOU, J. PASCUAL, I. TRUSKOWSKI, O. GALLANGO, y H. PASSALCQUA, (1995). *Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin*. en: TANKARD, A., R. SUAREZ y H. WELSH. *Petroleum basins of South America*. (Eds.). American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62, 741-756 p.

PASSALACQUA, H., F.FERNÁNDEZ, Y. GOU y F. ROURE. (1995). *Crustal architecture and strain partitioning in the Eastern Venezuelan ranges*. En Tankard, A.J., R., S. Suarez y H.J. Welsink, (eds), *Petroleum Basins of South America*, AAPG Memoir 62, 667-679 p.

PINDELL, J. L. y S. F. BARRETT, (1990). *Geological Evolution of the Caribbean Region: A Plate – Tectonic Perspective* en DENG G y CASE J.E. *The Caribbean Region, Geological Society of America, The Geology of North America*, Volume H: 405-432 p.

PINDELL, J. S. CANDE, W. PITMAN, D. ROWLEY, J. DEWEY, J. LEBREQUE y W. HAXBY (1988) *A plate – kinematic framework for models of Caribbean evolution*. *Tectonophysics*. 155: 121-138.

PINDELL, J. y J. DEWEY (1982) *Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region*. *Tectonics*, 1: 179-211.

PINDELL, J. L. (1994). *Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean*, en DONOVAN, S. K y T. A. JACKSON,. *Caribbean Geology: An Introduction*, UWI Publishers Association, cap. 2, 13-39 p.

PORRAS, J. (2003). *Estratigrafía secuencial del Oligo-Mioceno, Bloque Oritupano y Leona y Mata Acema, Área Mayor de Oficina, Cuenca Oriental de Venezuela*. Tesis de Post Grado. Universidad Central de Venezuela.

RODRÍGUEZ, I. (1974). *Investigación Gravimétrica en la Región Noroccidental de Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geofísica. Universidad Central de Venezuela.

RODRÍGUEZ, I. (1977). *Proyecto Investigación de la Faja Petrolífera del Orinoco por Métodos Geofísicos no Convencionales*. Instituto Tecnológico FONINVES. Caracas.

RODRÍGUEZ, I. (1983). *La Investigación Gravimétrica en la Exploración de Plutones Graníticos*. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela.

ROSS, M. y C. SCOTSE (1988) *A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region*. Tectonophysics. 155: 139-168.

RUIZ, C. (2007). *Inversión sísmica y estudio de atributos post apilamiento de los niveles I3 y TU de la Formación Oficina en el Campo Guico Guara, Edo. Anzoátegui*. Tesis de grado. Universidad Simón Bolívar.

SALAZAR, L. (2002). *Estratigrafía y evolución estructural del intervalo Mioceno Medio al reciente en el área Oritupano – Leona, Subcuenca de Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Geología. Universidad Central de Venezuela.

SCHLUMBERGER (1981) *Evaluación de Pozos*. Schlumberger Surencó, C.A., Caracas, Venezuela

SCHLUMBERGER (1997) *Evaluación de Pozos*. Schlumberger Surencó, C.A., Caracas, Venezuela.

SCHMITZ, M.; A. MARTINS; C. IZARRA; M. JACOMÉ; J. SÁNCHEZ y V. ROCABADO (2005). *The Major Features of the Crustal Structure in North- Eastern Venezuela From Deep Wide-Angle Seismic Observations and Gravity Modeling*. Tectonophysics, 399: 109-124 p

YOUNG, G., A. BELLIZIA, H. RENZ, F. JOHNSON, R. ROBIE y J. MASVALL (1956) *Geología de las cuencas sedimentarias de Venezuela y de sus campos petrolíferos*. Bol. Geol., Caracas, Pub. Esp: 2, 140p.

REFERENCIAS CONSULTADAS EN INTERNET

<http://www.aerodata.com.au/TechBriefs/Magnetics/rtp.htm> [Consulta: 2008, Mayo]

PDVSA – INTEVEP (1997) *Código Geológico de Venezuela*. Actualización enero 2002.

Disponible: <http://www.pdv.com/lexico> [Consulta: 2008, Agosto].

APÉNDICE A

Valores de Anomalía de Bouguer

TABLA 1: LISTA DE VALORES DE ANOMALÍA DE BOUGUER

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
1	8.920500	-64.032500	-50.926
2	8.915000	-64.038400	-50.437
3	8.909600	-64.044300	-49.846
4	8.920400	-64.044300	-50.795
5	8.925900	-64.038500	-51.460
6	8.909600	-64.032900	-49.858
7	8.909600	-64.022000	-49.550
8	8.915100	-64.016600	-49.791
9	8.920500	-64.022000	-50.405
10	8.915000	-64.027500	-49.927
11	8.925900	-64.027500	-51.090
12	8.931300	-64.027500	-51.884
13	8.931300	-64.022100	-51.823
14	8.931300	-64.016600	-51.687
15	8.925900	-64.016600	-50.812
16	8.931300	-64.033000	-51.822
17	8.980700	-63.896700	-58.788
18	8.991300	-63.896700	-59.898
19	8.997000	-63.902200	-60.319
20	8.997000	-63.896700	-60.186
21	8.986100	-63.902100	-59.517
22	8.992900	-63.907600	-59.774
23	8.968100	-63.896600	-57.237
24	8.975300	-63.902100	-58.063
25	8.931400	-64.005700	-51.612
26	8.936800	-64.005700	-52.114
27	8.936800	-64.000300	-52.169
28	8.931400	-64.000200	-51.679
29	8.920500	-64.000200	-50.130
30	8.909700	-64.005600	-49.401
31	8.909700	-64.011100	-49.377
32	8.915100	-64.005700	-49.742
33	8.920500	-64.011100	-50.160
34	8.925900	-64.005700	-50.803
35	8.931400	-64.011200	-51.593
36	8.936800	-64.011200	-52.218
37	8.931400	-63.994800	-51.560
38	8.926000	-63.994800	-50.824
39	8.915100	-63.994700	-49.923

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
40	8.920600	-63.989300	-50.566
41	8.931400	-63.989300	-51.703
42	8.937100	-63.989300	-52.271
43	8.937100	-63.994800	-52.276
44	8.942300	-63.994800	-52.679
45	8.942300	-63.989400	-52.890
46	8.942300	-63.983900	-53.020
47	8.942300	-63.978400	-53.116
48	8.936900	-63.973000	-52.795
49	8.936900	-63.978400	-52.418
50	8.936900	-63.983900	-52.306
51	8.931700	-63.978400	-51.799
52	8.931400	-63.983900	-51.700
53	8.926000	-63.983900	-51.268
54	8.926300	-63.972900	-51.572
55	8.942200	-64.033000	-52.952
56	8.936700	-64.033000	-52.464
57	8.936700	-64.027500	-52.505
58	8.936800	-64.022100	-52.441
59	8.937000	-64.016600	-52.496
60	8.942200	-64.016600	-52.882
61	8.942200	-64.022100	-53.025
62	8.942200	-64.027600	-53.040
63	8.947600	-64.033000	-53.430
64	8.947600	-64.027600	-53.489
65	8.947600	-64.022100	-53.543
66	8.947600	-64.016700	-53.521
67	8.953100	-64.016700	-53.994
68	8.953000	-64.022100	-54.071
69	8.953000	-64.027600	-54.056
70	8.953000	-64.033000	-53.953
71	8.958500	-64.022100	-54.598
72	8.958400	-64.027600	-55.001
73	8.958400	-64.033100	-53.822
74	8.958700	-64.016700	-54.562
75	8.942200	-64.011200	-52.745
76	8.942200	-64.005700	-52.642
77	8.942200	-64.000300	-52.648
78	8.947700	-64.000300	-53.114
79	8.947700	-63.994800	-53.239
80	8.947700	-63.989400	-53.440
81	8.947700	-64.005700	-53.164
82	8.947600	-64.011200	-53.383
83	8.953100	-64.011200	-54.028
84	8.958500	-64.011200	-54.541

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
85	8.958500	-64.005800	-54.615
86	8.958500	-64.000300	-54.612
87	8.958500	-63.994900	-54.652
88	8.958800	-63.983900	-54.961
89	8.958600	-63.978500	-55.113
90	8.958600	-63.989400	-54.827
91	8.953100	-63.989400	-54.056
92	8.953100	-63.994800	-53.780
93	8.953100	-64.000300	-53.728
94	8.947700	-63.983900	-53.673
95	8.952900	-63.978500	-54.408
96	8.958400	-64.038500	-54.197
97	8.963900	-64.022200	-55.059
98	8.974700	-64.022200	-56.643
99	8.974700	-64.033100	-56.477
100	8.969300	-64.027600	-55.766
101	8.974700	-64.044000	-56.510
102	8.963800	-64.044000	-54.862
103	8.958400	-64.044000	-54.375
104	8.963900	-64.033100	-55.011
105	8.969300	-64.038500	-55.655
106	8.953000	-64.038500	-53.841
107	8.953000	-64.044000	-53.897
108	8.953000	-64.049400	-53.783
109	8.958400	-64.049400	-54.299
110	8.969200	-64.049500	-55.722
111	8.964000	-63.978500	-55.877
112	8.974900	-63.981100	-57.180
113	8.974800	-63.989400	-56.756
114	8.953100	-63.983900	-54.263
115	8.963900	-64.011200	-55.086
116	8.953100	-64.005800	-53.699
117	8.969300	-64.016700	-55.816
118	8.964100	-63.956700	-56.202
119	8.964100	-63.951200	-56.310
120	8.969500	-63.951200	-57.392
121	8.969500	-63.948500	-57.280
122	8.969500	-63.940300	-57.631
123	8.964100	-63.945800	-56.565
124	8.964100	-63.940300	-56.666
125	8.958600	-63.956700	-55.623
126	8.953200	-63.956600	-54.930
127	8.947800	-63.956600	-54.256
128	8.947800	-63.951200	-54.551
129	8.953200	-63.951200	-55.054

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
130	8.958600	-63.951200	-55.686
131	8.974800	-64.011300	-56.767
132	8.974800	-64.000400	-56.720
133	8.969400	-63.994900	-56.075
134	8.963900	-64.000300	-55.368
135	8.969400	-64.005800	-55.838
136	8.964000	-63.989400	-55.494
137	8.969400	-63.984000	-56.338
138	8.953200	-63.962100	-54.821
139	8.958600	-63.967600	-55.456
140	8.953200	-63.967600	-54.756
141	8.953200	-63.973000	-54.581
142	8.959300	-63.973000	-55.336
143	8.947700	-63.973000	-53.877
144	8.947800	-63.967500	-54.134
145	8.947800	-63.962100	-54.204
146	8.942300	-63.973000	-53.215
147	8.942300	-63.967500	-53.361
148	8.942400	-63.956600	-53.596
149	8.942400	-63.945700	-54.051
150	8.931500	-63.967500	-52.150
151	8.934200	-63.956600	-52.991
152	8.958600	-63.962100	-55.557
153	8.969500	-63.934900	-57.438
154	8.975000	-63.934900	-58.186
155	8.980400	-63.934900	-58.681
156	8.975000	-63.929400	-57.987
157	8.975000	-63.923900	-57.886
158	8.975000	-63.918500	-58.000
159	8.975000	-63.913100	-58.026
160	8.969600	-63.913000	-57.446
161	8.969600	-63.907600	-57.409
162	8.969600	-63.918500	-57.351
163	8.969600	-63.923900	-57.188
164	8.969600	-63.929400	-57.301
165	8.958700	-63.940300	-56.051
166	8.958700	-63.945700	-55.741
167	8.953200	-63.945700	-55.185
168	8.947800	-63.940300	-54.916
169	8.953300	-63.934800	-55.087
170	8.953300	-63.923900	-55.414
171	8.958700	-63.918500	-55.939
172	8.958700	-63.929400	-55.997
173	8.958700	-63.934800	-56.052
174	8.964100	-63.934800	-56.648

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
175	8.964100	-63.929400	-56.740
176	8.964100	-63.923900	-56.733
177	8.974900	-63.951200	-57.827
178	8.974900	-63.945800	-58.022
179	8.975000	-63.940300	-58.084
180	8.980400	-63.940300	-58.723
181	8.980400	-63.945800	-58.670
182	8.980400	-63.951300	-58.652
183	8.936600	-64.060300	-52.085
184	8.942100	-64.060300	-52.573
185	8.947500	-64.060300	-53.095
186	8.947500	-64.065800	-52.641
187	8.942100	-64.065800	-52.300
188	8.936600	-64.065700	-51.765
189	8.936600	-64.071200	-51.072
190	8.942000	-64.071200	-51.808
191	8.947500	-64.071200	-52.167
192	8.952900	-64.071200	-52.711
193	8.958300	-64.071300	-53.374
194	8.969200	-64.071300	-55.037
195	8.963800	-64.065800	-54.380
196	8.958300	-64.065800	-53.639
197	8.952900	-64.065800	-53.041
198	8.931200	-64.076600	-50.198
199	8.931200	-64.071200	-50.531
200	8.925800	-64.071200	-50.089
201	8.925700	-64.082100	-49.244
202	8.931200	-64.082100	-49.657
203	8.920300	-64.087500	-48.185
204	8.925700	-64.093000	-48.142
205	8.931100	-64.093000	-48.730
206	8.931100	-64.087500	-49.193
207	8.931100	-64.098500	-48.311
208	8.936500	-64.109400	-48.180
209	8.964200	-63.913000	-56.753
210	8.964200	-63.902100	-56.756
211	8.980500	-63.913100	-58.505
212	8.985900	-63.924000	-59.034
213	8.980400	-63.918500	-58.642
214	8.990200	-63.918500	-59.331
215	8.985900	-63.934900	-58.893
216	8.980400	-63.924000	-58.500
217	8.980400	-63.929400	-58.588
218	8.980500	-63.907600	-58.526
219	8.947700	-63.978500	-53.602

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
220	8.980300	-63.962100	-58.235
221	8.991200	-63.943000	-59.329
222	8.985800	-63.934900	-59.190
223	8.991300	-63.929500	-59.406
224	8.985800	-63.945800	-59.229
225	8.996600	-64.054700	-60.113
226	8.991200	-63.964800	-59.476
227	8.996600	-63.970200	-60.174
228	8.985700	-63.967600	-58.898
229	8.985800	-63.956700	-58.960
230	8.991200	-63.953900	-59.516
231	8.936500	-64.104100	-48.500
232	8.936500	-64.098500	-48.922
233	8.931100	-64.103900	-47.884
234	8.931100	-64.109400	-47.470
235	8.931100	-64.114800	-47.278
236	8.925600	-64.114800	-46.595
237	8.925700	-64.103900	-47.352
238	8.920300	-64.098400	-47.036
239	8.920200	-64.109400	-46.342
240	8.914800	-64.103900	-46.167
241	8.909400	-64.109300	-45.486
242	8.909400	-64.098400	-46.227
243	8.974900	-63.956700	-57.758
244	8.969500	-63.962100	-57.786
245	8.974900	-63.967600	-57.395
246	8.969400	-63.973100	-55.326
247	8.964000	-63.967600	-56.868
248	8.952900	-64.054900	-53.603
249	8.947500	-64.054900	-53.233
250	8.952900	-64.060300	-53.368
251	8.958400	-64.060300	-53.848
252	8.958400	-64.054900	-54.124
253	8.963800	-64.054900	-54.825
254	8.915000	-64.049300	-50.156
255	8.925800	-64.049300	-51.364
256	8.942100	-64.043900	-53.022
257	8.936700	-64.038500	-52.475
258	8.942100	-64.038500	-53.035
259	8.947600	-64.038500	-53.358
260	8.947500	-64.043900	-53.396
261	8.947500	-64.049400	-53.386
262	8.942100	-64.049400	-52.883
263	8.942100	-64.054800	-52.800
264	8.936700	-64.054800	-52.221

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
265	8.936700	-64.049400	-52.343
266	8.936700	-64.043900	-52.498
267	8.931300	-64.044000	-51.956
268	8.931300	-64.038400	-51.964
269	8.931300	-64.049400	-51.951
270	8.974600	-64.054900	-56.373
271	8.969200	-64.060400	-55.503
272	8.974600	-64.065900	-56.074
273	8.974600	-64.076800	-55.695
274	8.974600	-64.087700	-55.077
275	8.974500	-64.098600	-54.891
276	8.974500	-64.109500	-54.674
277	8.974500	-64.120400	-54.592
278	8.969000	-64.114900	-53.856
279	8.969100	-64.104000	-53.844
280	8.969100	-64.093100	-54.037
281	8.941900	-64.120400	-48.709
282	8.947600	-64.120300	-49.674
283	8.952700	-64.125800	-50.560
284	8.953800	-64.136700	-50.525
285	8.952900	-64.142200	-50.056
286	8.958100	-64.142200	-51.002
287	8.958100	-64.136700	-51.396
288	8.963600	-64.131300	-52.322
289	8.958100	-64.131300	-51.358
290	8.958200	-64.125800	-51.490
291	8.952800	-64.120400	-50.565
292	8.958200	-64.120400	-51.700
293	8.963600	-64.120400	-52.687
294	8.969400	-64.082200	-54.394
295	8.963700	-64.076800	-53.934
296	8.963700	-64.087700	-53.323
297	8.958300	-64.087600	-52.597
298	8.958300	-64.082200	-52.721
299	8.958300	-64.076700	-53.189
300	8.947500	-64.076700	-51.776
301	8.952900	-64.076700	-52.427
302	8.952900	-64.082200	-52.056
303	8.947400	-64.082100	-51.422
304	8.952800	-64.087600	-51.570
305	8.947400	-64.087600	-50.905
306	8.942000	-64.087600	-50.304
307	8.942000	-64.076700	-51.257
308	8.942000	-64.082100	-50.873
309	8.936600	-64.087600	-49.794

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
310	8.936600	-64.082100	-50.249
311	8.936600	-64.076700	-50.766
312	8.958100	-64.153100	-50.479
313	8.952600	-64.153100	-49.753
314	8.952600	-64.158600	-49.760
315	8.952600	-64.164000	-49.556
316	8.952600	-64.169500	-49.203
317	8.947200	-64.174900	-48.955
318	8.952600	-64.174900	-48.993
319	8.952600	-64.180400	-48.772
320	8.958000	-64.180400	-49.857
321	8.958000	-64.174900	-50.058
322	8.958000	-64.169500	-50.129
323	8.909400	-64.087500	-47.188
324	8.914800	-64.093000	-47.011
325	8.936700	-64.114800	-48.004
326	8.936700	-64.120300	-47.970
327	8.947300	-64.114900	-49.736
328	8.952800	-64.114900	-50.660
329	8.952800	-64.109400	-50.931
330	8.958200	-64.109500	-51.928
331	8.958200	-64.104000	-51.973
332	8.958200	-64.114900	-51.713
333	8.969000	-64.125900	-53.422
334	8.963500	-64.142200	-51.996
335	8.947400	-64.104000	-50.132
336	8.952800	-64.104000	-51.188
337	8.958200	-64.098500	-52.118
338	8.952800	-64.098500	-51.440
339	8.947400	-64.098500	-50.519
340	8.947400	-64.109400	-49.856
341	8.941900	-64.104000	-49.383
342	8.942000	-64.098500	-49.563
343	8.941900	-64.114900	-48.781
344	8.941900	-64.109500	-49.012
345	8.974400	-64.131300	-54.237
346	8.969000	-64.136800	-53.092
347	8.958100	-64.147700	-50.716
348	8.958100	-64.158600	-50.604
349	8.958000	-64.164000	-50.391
350	8.947200	-64.164000	-48.693
351	8.941800	-64.164000	-47.776
352	8.937500	-64.164000	-47.169
353	8.947200	-64.169500	-48.340
354	8.941800	-64.142200	-48.403

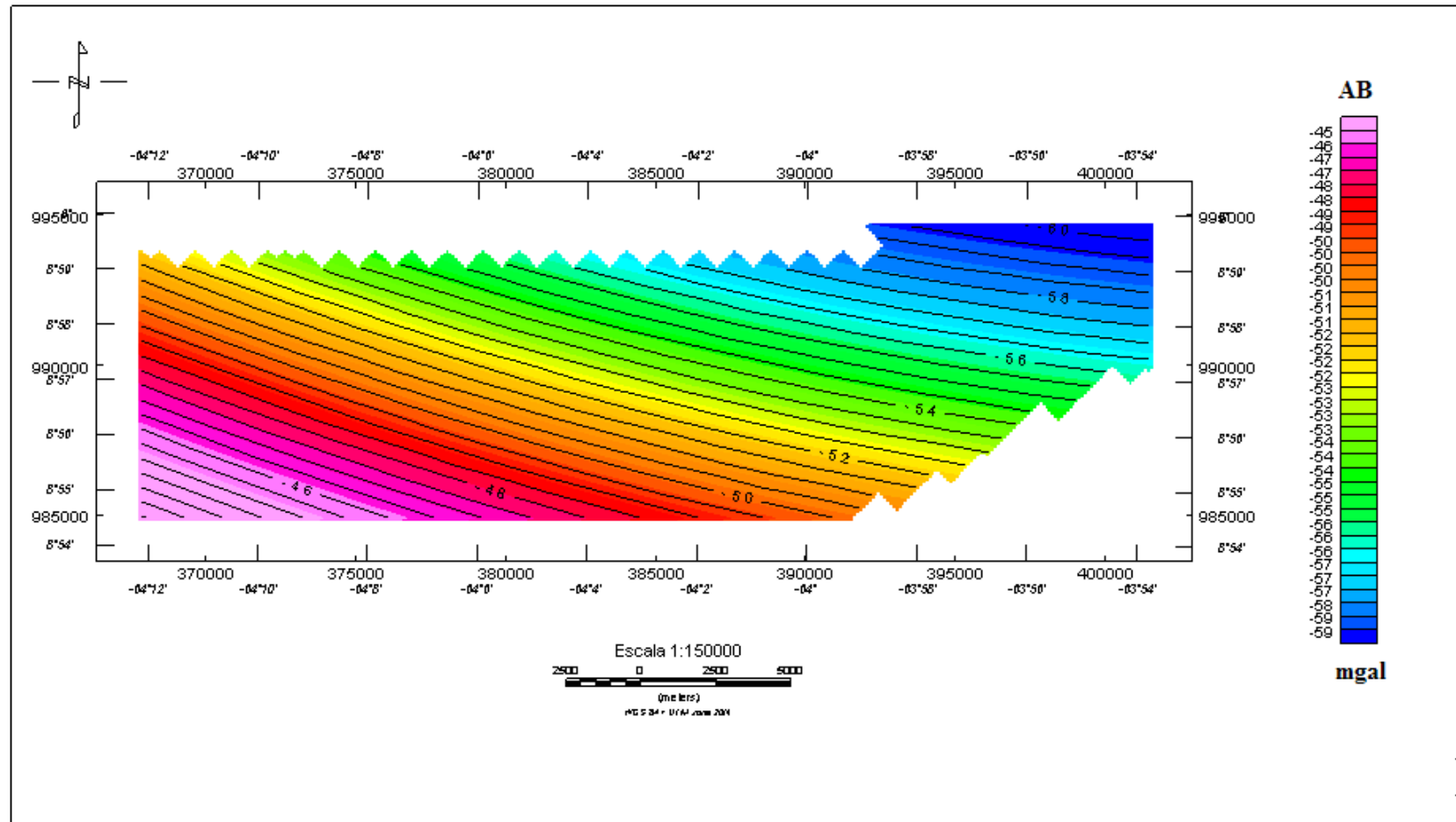
Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
355	8.941800	-64.147600	-48.229
356	8.936400	-64.147600	-47.411
357	8.936400	-64.142100	-47.632
358	8.996700	-63.913100	-60.122
359	8.996700	-63.926600	-60.227
360	8.996900	-63.934900	-60.158
361	8.996900	-63.945800	-60.163
362	8.909200	-64.163900	-44.486
363	8.963700	-64.098600	-53.071
364	8.963600	-64.109500	-52.931
365	8.958300	-64.093100	-52.217
366	8.952800	-64.093100	-51.330
367	8.947400	-64.093100	-50.672
368	8.942000	-64.093000	-49.775
369	8.936600	-64.093000	-49.476
370	8.963500	-64.153100	-51.515
371	8.963500	-64.164000	-53.231
372	8.968900	-64.169500	-52.155
373	8.974300	-64.175000	-52.916
374	8.931200	-64.065700	-51.004
375	8.925800	-64.060300	-50.956
376	8.920400	-64.054800	-50.650
377	8.920400	-64.065700	-50.135
378	8.914900	-64.071100	-48.978
379	8.914900	-64.082000	-48.200
380	8.914900	-64.060200	-49.795
381	8.909500	-63.902100	-48.035
382	8.931200	-64.060300	-51.421
383	8.931200	-64.054800	-51.687
384	8.931000	-64.142100	-47.000
385	8.931000	-64.147600	-46.881
386	8.925500	-64.147600	-46.442
387	8.920100	-64.153000	-45.906
388	8.925500	-64.158500	-46.195
389	8.930900	-64.158500	-46.533
390	8.930900	-64.153000	-46.822
391	8.914700	-64.147500	-45.677
392	8.909200	-64.153000	-45.079
393	8.909500	-64.065700	-48.707
394	8.909500	-64.054800	-49.204
395	8.963400	-64.185900	-50.425
396	8.963400	-64.196800	-50.358
397	8.968800	-64.202300	-51.437
398	8.974000	-64.202300	-49.615
399	8.957900	-64.202200	-49.253

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
400	8.958000	-64.191300	-49.366
401	8.963400	-64.175000	-51.027
402	8.952500	-64.185800	-48.557
403	8.947100	-64.180400	-47.734
404	8.947100	-64.191300	-47.527
405	8.941700	-64.180300	-47.200
406	8.941700	-64.174900	-47.290
407	8.936300	-64.180300	-46.420
408	8.941700	-64.185800	-46.986
409	8.936200	-64.191200	-46.004
410	8.936200	-64.202200	-45.630
411	8.941700	-64.196700	-46.598
412	8.947100	-64.202200	-47.264
413	8.952500	-64.196800	-48.259
414	8.936300	-64.174900	-46.816
415	8.936300	-64.169400	-47.005
416	8.941700	-64.169400	-47.556
417	8.930700	-64.163900	-46.392
418	8.930900	-64.169400	-46.335
419	8.930900	-64.174900	-46.210
420	8.930900	-64.180300	-45.781
421	8.925700	-64.180300	-45.119
422	8.930800	-64.185800	-45.328
423	8.925500	-64.169400	-45.750
424	8.920100	-64.163900	-45.462
425	8.974100	-64.164100	-53.280
426	8.974300	-64.158600	-53.466
427	8.974400	-64.153200	-53.687
428	8.968900	-64.158600	-52.337
429	8.968900	-64.153200	-52.545
430	8.974400	-64.142300	-53.949
431	8.968900	-64.147700	-52.673
432	8.946900	-64.140800	-48.889
433	8.942100	-64.131300	-48.504
434	8.947500	-64.131100	-49.405
435	8.952700	-64.131300	-50.430
436	8.947400	-64.136700	-49.246
437	8.940800	-64.136200	-48.421
438	8.936600	-64.136400	-47.735
439	8.936200	-64.131200	-47.817
440	8.947500	-64.125800	-49.574
441	8.942100	-64.125800	-48.575
442	8.936600	-64.125700	-47.801
443	8.931300	-64.125700	-47.147
444	8.931200	-64.131100	-47.293

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía de Bouguer (mgal) (d= 2.1 g/cc)
445	8.931300	-64.136700	-47.152
446	8.947500	-64.147600	-49.047
447	8.952900	-64.147600	-49.926
448	8.941900	-64.158500	-48.016
449	8.942000	-64.153100	-48.115
450	8.947200	-64.153100	-48.920
451	8.947200	-64.158500	-48.853
452	8.968800	-64.180400	-51.724
453	8.974500	-64.185900	-52.774
454	8.974200	-64.196800	-52.695
455	8.968800	-64.191300	-51.509
456	8.936900	-63.962100	-52.977
457	8.936400	-64.153000	-47.293
458	8.920100	-64.142100	-46.044
459	8.925800	-64.136600	-46.670
460	8.925600	-64.131200	-46.594
461	8.925600	-64.125700	-46.720
462	8.920200	-64.120300	-46.002
463	8.909300	-64.120200	-45.422
464	8.914800	-64.114800	-45.797
465	8.931000	-64.120300	-47.132
466	8.908400	-64.196600	-43.882
467	8.909100	-64.202100	-43.658
468	8.914500	-64.202100	-43.508
469	8.914500	-64.191200	-44.407
470	8.920000	-64.185700	-44.848
471	8.925600	-64.191200	-44.741
472	8.920000	-64.196600	-44.419
473	8.925400	-63.896700	-44.819
474	8.908900	-64.185700	-44.367
475	8.936400	-64.158500	-47.196
476	8.914900	-64.158400	-45.263
477	8.915800	-64.136600	-45.567
478	8.921300	-64.131200	-46.211
479	8.914800	-64.125700	-45.701
480	8.909300	-64.131100	-45.371
481	8.909300	-64.142000	-45.415
482	8.914600	-64.180300	-44.499
483	8.911200	-64.174800	-44.329
484	8.914400	-64.169300	-44.655

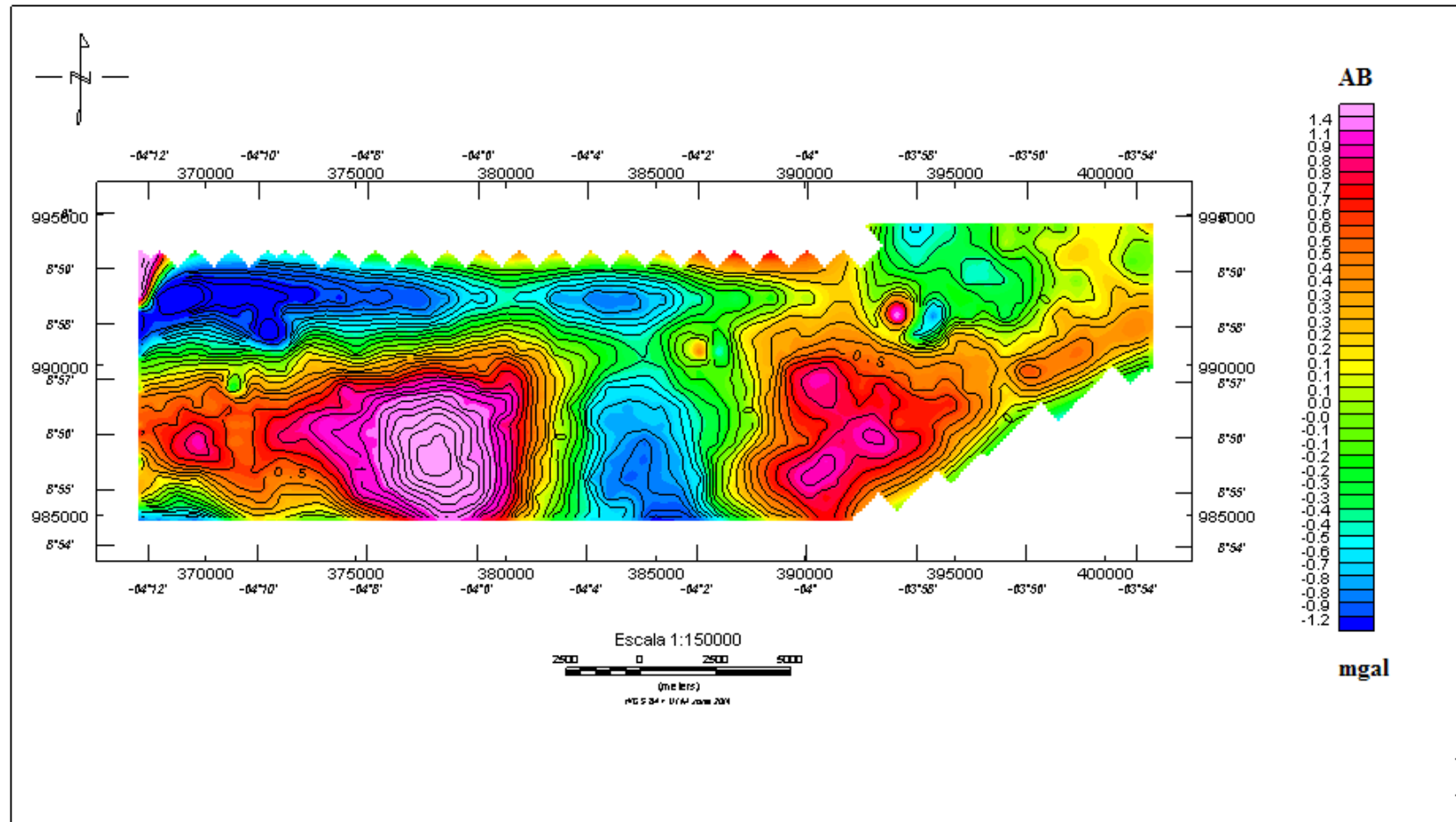
APÉNDICE B

Mapa regional de Anomalía de Bouguer de 2^{do} grado



APÉNDICE C

Mapa residual de Anomalía de Bouguer de 2^{do} grado



APÉNDICE D

Valores de Anomalía Magnética

TABLA 2: LISTA DE VALORES DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
1	8.909596	-64.032920	-176.771
2	8.909564	-64.043834	-180.444
3	8.915008	-64.038391	-180.912
4	8.920418	-64.043863	-184.448
5	8.920447	-64.032950	-181.023
6	8.925860	-64.038422	-178.818
7	8.931541	-64.027525	-166.388
8	8.931558	-64.022068	-165.255
9	8.931343	-64.016612	-189.182
10	8.925919	-64.016596	-177.474
11	8.915068	-64.016564	-176.725
12	8.909625	-64.022007	-176.251
13	8.915037	-64.027477	-178.738
14	8.920480	-64.022038	-179.800
15	8.925888	-64.027509	-183.948
16	8.936336	-64.010713	-191.621
17	8.931359	-64.011154	-179.661
18	8.920508	-64.011124	-172.152
19	8.909656	-64.011093	-171.191
20	8.915097	-64.005651	-165.739
21	8.909671	-64.005639	-170.175
22	8.915126	-63.994737	-172.718
23	8.925949	-64.005682	-174.351
24	8.920539	-64.000211	-173.830
25	8.920567	-63.989297	-169.295
26	8.925978	-63.994769	-176.272
27	8.931405	-63.994782	-178.913
28	8.931388	-64.000241	-182.372
29	8.931376	-64.005696	-183.636
30	8.936799	-64.005711	-186.196
31	8.936818	-64.000255	-183.934
32	8.968057	-63.896648	-187.923
33	8.980494	-63.896676	-204.540
34	8.992025	-63.896704	-197.919
35	8.996772	-63.897172	-202.996
36	8.996759	-63.902175	-209.836
37	8.991997	-63.907621	-210.467
38	8.985907	-63.902147	-207.550
39	8.964199	-63.902093	-185.812

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
40	8.969840	-63.907566	-176.174
41	8.969600	-63.913022	-200.310
42	8.974286	-64.174996	-258.134
43	8.980467	-63.907591	-207.256
44	8.980451	-63.913051	-207.785
45	8.985879	-63.913061	-210.257
46	8.975027	-63.912581	-207.316
47	8.975013	-63.918494	-220.493
48	8.980440	-63.918509	-209.708
49	8.990161	-63.918526	-206.439
50	8.985854	-63.923978	-208.724
51	8.980423	-63.923965	-208.079
52	8.974998	-63.923949	-213.820
53	8.974986	-63.929409	-199.779
54	8.980412	-63.929423	-207.760
55	8.980400	-63.934880	-210.117
56	8.985823	-63.934895	-206.326
57	8.974972	-63.934867	-203.399
58	8.974959	-63.940325	-205.643
59	8.969531	-63.940311	-190.169
60	8.969544	-63.934853	-206.264
61	8.969560	-63.929394	-230.664
62	8.969574	-63.923937	-169.351
63	8.969813	-63.918481	-207.712
64	8.964175	-63.913011	-191.845
65	8.958734	-63.918450	-190.206
66	8.953294	-63.923897	-163.667
67	8.958706	-63.929368	-197.219
68	8.964147	-63.923925	-201.926
69	8.964133	-63.929381	-199.733
70	8.958692	-63.934826	-198.478
71	8.964119	-63.934838	-194.670
72	8.953266	-63.934812	-181.362
73	8.947827	-63.940256	-183.667
74	8.958678	-63.940281	-185.863
75	8.964106	-63.940298	-200.675
76	8.969517	-63.945768	-231.084
77	8.974944	-63.945781	-208.473
78	8.980383	-63.940340	-208.562
79	8.980371	-63.945796	-192.842
80	8.980355	-63.951709	-206.451
81	8.974929	-63.951241	-223.680
82	8.969503	-63.951226	-197.111
83	8.964755	-63.951213	-199.997
84	8.991237	-63.940365	-213.371

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
85	8.991266	-63.929452	-209.059
86	8.985796	-63.945811	-206.489
87	8.996705	-63.924007	-213.258
88	8.996730	-63.913090	-208.027
89	8.996876	-63.945839	-204.172
90	8.996673	-63.934921	-206.513
91	8.991208	-63.951283	-203.248
92	8.996846	-63.956755	-201.690
93	8.991181	-63.962198	-202.000
94	8.997272	-63.967674	-201.012
95	8.985740	-63.967186	-200.426
96	8.985768	-63.956726	-193.893
97	8.980329	-63.962163	-207.799
98	8.958650	-63.951197	-197.793
99	8.964092	-63.945755	-197.138
100	8.958664	-63.945741	-190.270
101	8.953238	-63.945724	-200.344
102	8.953225	-63.951184	-184.919
103	8.948024	-63.951170	-185.118
104	8.948010	-63.956627	-178.447
105	8.947546	-63.962083	-187.152
106	8.953196	-63.962099	-204.112
107	8.953209	-63.956640	-186.393
108	8.958636	-63.956655	-203.946
109	8.958623	-63.962112	-202.980
110	8.958608	-63.967572	-164.524
111	8.964035	-63.967586	-194.328
112	8.974887	-63.967612	-205.656
113	8.974917	-63.956698	-199.741
114	8.969475	-63.962141	-184.132
115	8.969447	-63.973056	-194.833
116	8.958139	-63.974390	-146.675
117	8.964005	-63.978498	-194.656
118	8.958805	-63.978487	-196.171
119	8.940353	-63.945693	-187.511
120	8.934219	-63.956591	-167.143
121	8.936239	-63.962054	-173.402
122	8.931478	-63.967498	-168.857
123	8.936891	-63.972972	-172.834
124	8.926035	-63.972941	-171.510
125	8.930771	-63.978409	-172.230
126	8.926008	-63.983855	-174.039
127	8.931420	-63.989326	-178.451
128	8.931434	-63.983869	-173.686
129	8.936861	-63.983884	-164.120

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
130	8.936875	-63.978428	-177.709
131	8.936848	-63.989342	-177.272
132	8.936832	-63.994799	-177.662
133	8.942032	-63.994811	-178.015
134	8.943401	-63.989359	-159.898
135	8.942286	-63.983898	-174.770
136	8.942301	-63.978441	-184.272
137	8.942360	-63.956613	-174.292
138	8.942330	-63.967525	-174.679
139	8.942316	-63.972984	-161.830
140	8.964063	-63.956670	-196.883
141	8.952505	-63.967553	-194.086
142	8.947754	-63.967541	-180.631
143	8.947967	-63.972997	-211.295
144	8.953153	-63.978925	-195.204
145	8.974860	-63.978529	-200.870
146	8.974831	-63.989444	-193.250
147	8.958551	-63.989401	-188.130
148	8.963975	-63.989414	-190.136
149	8.963991	-63.983956	-191.170
150	8.969417	-63.983971	-191.618
151	8.958790	-63.983941	-192.717
152	8.952461	-63.983926	-171.976
153	8.952446	-63.989382	-197.909
154	8.947358	-63.988004	-192.176
155	8.958537	-63.994858	-192.920
156	8.958747	-64.000315	-178.089
157	8.958506	-64.005773	-183.098
158	8.958491	-64.011229	-187.285
159	8.957911	-64.018049	-179.686
160	8.947939	-63.983914	-183.296
161	8.942919	-64.000272	-159.743
162	8.942228	-64.005727	-166.260
163	8.942213	-64.011183	-156.682
164	8.947639	-64.011198	-185.398
165	8.952386	-64.011212	-176.121
166	8.947654	-64.005742	-179.449
167	8.947682	-63.994827	-180.682
168	8.947952	-63.978446	-148.431
169	8.953110	-63.994841	-189.096
170	8.953095	-64.000299	-185.595
171	8.953079	-64.005758	-184.134
172	8.947671	-64.000285	-170.626
173	8.937690	-64.017535	-164.550
174	8.942198	-64.016640	-181.678

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
175	8.947623	-64.016656	-184.453
176	8.953051	-64.016669	-183.089
177	8.953035	-64.022129	-178.882
178	8.947609	-64.022113	-181.656
179	8.942182	-64.022098	-176.115
180	8.936757	-64.022082	-181.850
181	8.936742	-64.027539	-182.432
182	8.942168	-64.027555	-184.537
183	8.947595	-64.027571	-182.312
184	8.953019	-64.027587	-181.002
185	8.958447	-64.027600	-173.904
186	8.958430	-64.033057	-173.007
187	8.953004	-64.033044	-173.115
188	8.947579	-64.033027	-172.628
189	8.942152	-64.033011	-173.413
190	8.936725	-64.032997	-176.687
191	8.952991	-64.038501	-180.721
192	8.952975	-64.043957	-180.130
193	8.952959	-64.049412	-175.165
194	8.947533	-64.049398	-176.295
195	8.947548	-64.043942	-175.964
196	8.947562	-64.038486	-177.674
197	8.947517	-64.054857	-174.985
198	8.952943	-64.054871	-174.817
199	8.958368	-64.054886	-185.461
200	8.958386	-64.049431	-170.239
201	8.958626	-64.043973	-176.577
202	8.958414	-64.038515	-178.801
203	8.969328	-64.016715	-185.110
204	8.969343	-64.011258	-181.873
205	8.963919	-64.011244	-183.970
206	8.969361	-64.005801	-185.740
207	8.974771	-64.011274	-185.480
208	8.963948	-64.000330	-186.547
209	8.969388	-63.994886	-190.987
210	8.974831	-63.989444	-188.057
211	8.974710	-64.033104	-184.078
212	8.974679	-64.044018	-180.898
213	8.975189	-64.023556	-189.574
214	8.963887	-64.022158	-183.289
215	8.963826	-64.043988	-177.546
216	8.963856	-64.033074	-174.242
217	8.969300	-64.027632	-186.511
218	8.969283	-64.033088	-183.561
219	8.969267	-64.038546	-193.056

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
220	8.974647	-64.054935	-178.053
221	8.974616	-64.065851	-176.916
222	8.974585	-64.076763	-186.436
223	8.974554	-64.087678	-187.600
224	8.974520	-64.098594	-188.888
225	8.974488	-64.109509	-185.664
226	8.974456	-64.120426	-185.858
227	8.969044	-64.114949	-191.693
228	8.969078	-64.104034	-179.031
229	8.958194	-64.114915	-173.828
230	8.958403	-64.120374	-189.632
231	8.963603	-64.120390	-183.159
232	8.936860	-64.065739	-151.408
233	8.942060	-64.065754	-178.845
234	8.942076	-64.060297	-169.635
235	8.936649	-64.060281	-177.279
236	8.947502	-64.060314	-178.044
237	8.947486	-64.065763	-176.439
238	8.952913	-64.065785	-176.918
239	8.958339	-64.065801	-173.744
240	8.963764	-64.065817	-173.739
241	8.969175	-64.071290	-169.804
242	8.958322	-64.071258	-166.625
243	8.952897	-64.071244	-161.704
244	8.947471	-64.071228	-166.805
245	8.942044	-64.071211	-173.351
246	8.936392	-64.071194	-177.415
247	8.920293	-64.087518	-185.062
248	8.925702	-64.092989	-197.479
249	8.931128	-64.093007	-192.490
250	8.931145	-64.087550	-188.920
251	8.925734	-64.082078	-197.381
252	8.931159	-64.082093	-196.187
253	8.925765	-64.071164	-194.025
254	8.931191	-64.071179	-196.376
255	8.931176	-64.076636	-183.770
256	8.941981	-64.093041	-179.482
257	8.947407	-64.093054	-180.141
258	8.952833	-64.093073	-172.562
259	8.958258	-64.093087	-176.138
260	8.963685	-64.093105	-178.778
261	8.963668	-64.098561	-178.504
262	8.969111	-64.093120	-178.257
263	8.963634	-64.109477	-178.742
264	8.958210	-64.109459	-183.438

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
265	8.958226	-64.104002	-180.601
266	8.958241	-64.098545	-176.675
267	8.952815	-64.098528	-174.673
268	8.947392	-64.098514	-173.627
269	8.941965	-64.098496	-174.067
270	8.936538	-64.098479	-170.835
271	8.937199	-64.103938	-192.869
272	8.931078	-64.109377	-188.167
273	8.931097	-64.103920	-189.672
274	8.925670	-64.103903	-186.978
275	8.931111	-64.098464	-191.596
276	8.920259	-64.098431	-174.046
277	8.909440	-64.087485	-202.075
278	8.914625	-64.092957	-213.845
279	8.909407	-64.098399	-207.905
280	8.914818	-64.103872	-206.255
281	8.909149	-64.109311	-200.926
282	8.920228	-64.109344	-200.301
283	8.925636	-64.114818	-212.704
284	8.920210	-64.114801	-205.604
285	8.936552	-64.093022	-184.106
286	8.947374	-64.103970	-176.180
287	8.952801	-64.103985	-176.753
288	8.952784	-64.109443	-175.611
289	8.952766	-64.114899	-175.339
290	8.947340	-64.114883	-177.577
291	8.947359	-64.109426	-176.872
292	8.941915	-64.114866	-184.036
293	8.941931	-64.109411	-179.112
294	8.941948	-64.103953	-177.680
295	8.936732	-64.109395	-196.940
296	8.958091	-64.147659	-212.812
297	8.958076	-64.153117	-214.353
298	8.952650	-64.153100	-212.814
299	8.952632	-64.158556	-187.175
300	8.952617	-64.164013	-211.209
301	8.952598	-64.169470	-216.554
302	8.952582	-64.174928	-220.754
303	8.946928	-64.174910	-216.175
304	8.952565	-64.180383	-223.587
305	8.957974	-64.185858	-227.129
306	8.957991	-64.180402	-232.473
307	8.958008	-64.174943	-221.341
308	8.958022	-64.169487	-222.882
309	8.958496	-64.163577	-208.559

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
310	8.957379	-64.158571	-218.380
311	8.969238	-64.049460	-186.884
312	8.963795	-64.054903	-181.716
313	8.958461	-64.022142	-195.718
314	8.932431	-64.032982	-181.687
315	8.931285	-64.038438	-185.127
316	8.931269	-64.043895	-187.166
317	8.931482	-64.049352	-171.371
318	8.926054	-64.049336	-193.519
319	8.914976	-64.049305	-190.942
320	8.936260	-64.188063	-201.902
321	8.936697	-64.120308	-183.522
322	8.941900	-64.119869	-196.079
323	8.941832	-64.142151	-190.477
324	8.941816	-64.147608	-193.741
325	8.936371	-64.153048	-198.006
326	8.925503	-64.158470	-200.717
327	8.925537	-64.147555	-193.493
328	8.936857	-64.142590	-185.181
329	8.936389	-64.147591	-193.672
330	8.936355	-64.158505	-193.663
331	8.930929	-64.158488	-200.742
332	8.930982	-64.142118	-193.679
333	8.930963	-64.147575	-191.458
334	8.930944	-64.153032	-184.958
335	8.920094	-64.152997	-200.977
336	8.920077	-64.158453	-196.252
337	8.914651	-64.158436	-208.773
338	8.909240	-64.152964	-207.768
339	8.914684	-64.147522	-210.037
340	8.920128	-64.142083	-184.385
341	8.947327	-64.120337	-207.028
342	8.952737	-64.125359	-172.680
343	8.952751	-64.120357	-173.495
344	8.958160	-64.125832	-184.855
345	8.936712	-64.038451	-187.665
346	8.942139	-64.038469	-189.426
347	8.942124	-64.043925	-187.227
348	8.942108	-64.049384	-191.127
349	8.942092	-64.054840	-186.819
350	8.936665	-64.054823	-186.918
351	8.936678	-64.049367	-187.987
352	8.936696	-64.043908	-189.057
353	8.952928	-64.060329	-182.438
354	8.958354	-64.060343	-183.518

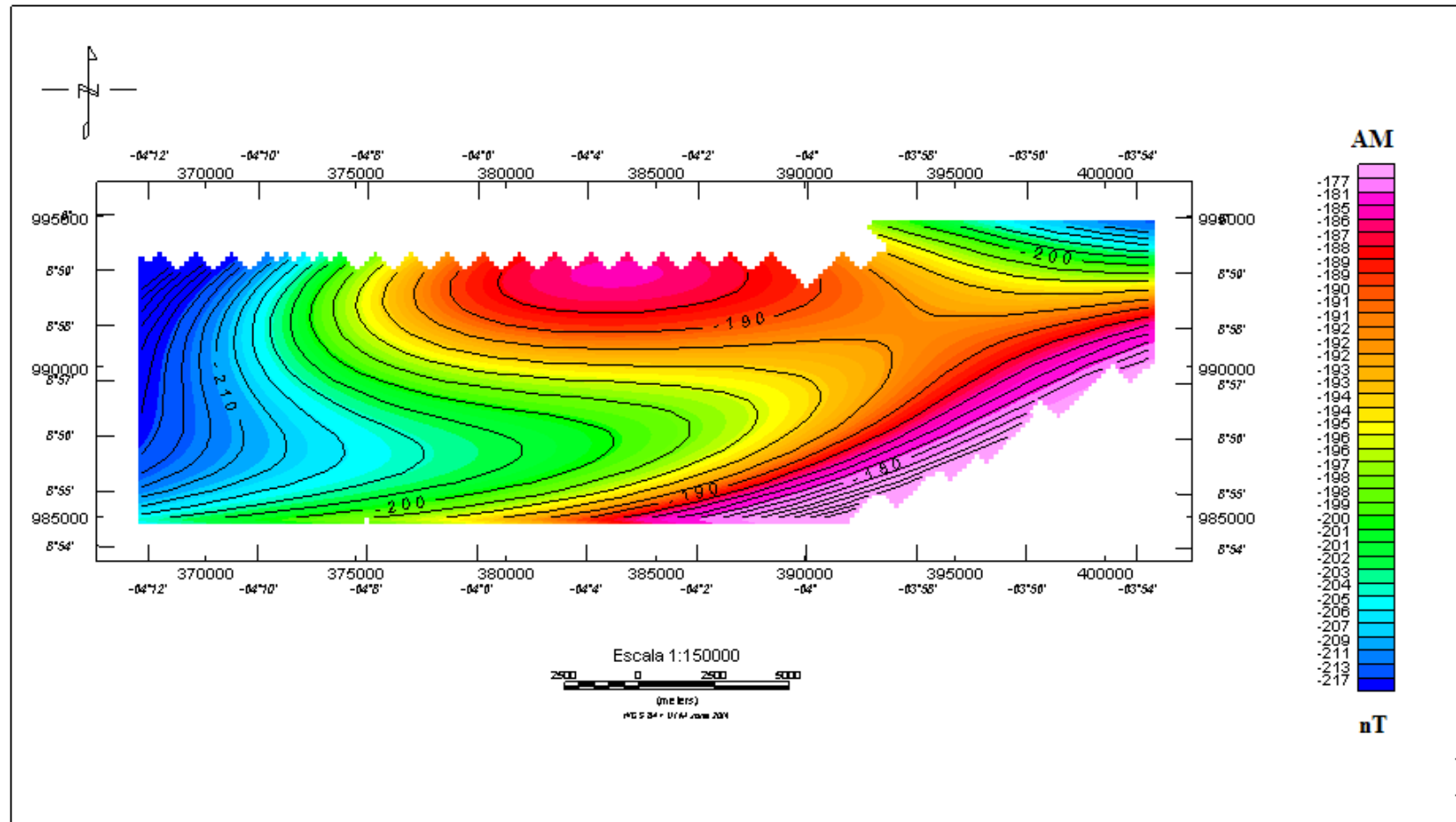
Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
355	8.969207	-64.060376	-183.385
356	8.947189	-64.163996	-196.827
357	8.941763	-64.163978	-195.822
358	8.937470	-64.163963	-195.741
359	8.947172	-64.169453	-211.348
360	8.958113	-64.142202	-194.029
361	8.952574	-64.142640	-194.543
362	8.954283	-64.136734	-203.031
363	8.958127	-64.136744	-192.684
364	8.958144	-64.131287	-188.714
365	8.963570	-64.131304	-194.799
366	8.969012	-64.125863	-194.837
367	8.963539	-64.142219	-200.038
368	8.968979	-64.136778	-200.926
369	8.974422	-64.131338	-202.044
370	8.973989	-64.196825	-230.387
371	8.973517	-64.202280	-216.118
372	8.974249	-64.185911	-226.097
373	8.968843	-64.180890	-242.045
374	8.963433	-64.174960	-235.880
375	8.963396	-64.185876	-226.791
376	8.968804	-64.191349	-227.803
377	8.968771	-64.202264	-228.955
378	8.963363	-64.196790	-226.595
379	8.957955	-64.191315	-230.117
380	8.947136	-64.180366	-213.645
381	8.941713	-64.180348	-209.427
382	8.936304	-64.174874	-204.515
383	8.952547	-64.185838	-221.602
384	8.969369	-64.082207	-178.074
385	8.963736	-64.076731	-175.335
386	8.963698	-64.087648	-175.983
387	8.958273	-64.087631	-173.563
388	8.958290	-64.082174	-174.056
389	8.958306	-64.076716	-176.306
390	8.952881	-64.076698	-174.075
391	8.947455	-64.076685	-165.732
392	8.947437	-64.082140	-174.860
393	8.952864	-64.082158	-174.607
394	8.952849	-64.087614	-174.990
395	8.947422	-64.087598	-174.904
396	8.941997	-64.087582	-186.016
397	8.942029	-64.076667	-181.650
398	8.942014	-64.082126	-180.801
399	8.936570	-64.087566	-187.294

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
400	8.936602	-64.076654	-184.234
401	8.936586	-64.082109	-185.240
402	8.941695	-64.185806	-217.608
403	8.941658	-64.196718	-220.597
404	8.936217	-64.202158	-221.065
405	8.936234	-64.196701	-217.915
406	8.936251	-64.191243	-201.820
407	8.936283	-64.180332	-205.681
408	8.925245	-64.169382	-195.810
409	8.920059	-64.163912	-204.554
410	8.921156	-64.174827	-220.977
411	8.969044	-64.114949	-201.105
412	8.974647	-64.054935	-187.370
413	8.975189	-64.023556	-195.593
414	8.958537	-63.994858	-197.364
415	8.964005	-63.978498	-197.631
416	8.964755	-63.951213	-196.541
417	8.969574	-63.923937	-172.048
418	8.969840	-63.907566	-179.409
419	8.942360	-63.956613	-177.358
420	8.942316	-63.972984	-166.304
421	8.942213	-64.011183	-137.899
422	8.952991	-64.038501	-184.887
423	8.932431	-64.032982	-140.922
424	8.915097	-64.005651	-174.165
425	8.952737	-64.125359	-169.074
426	8.974510	-64.174997	-244.491
427	8.968875	-64.169523	-208.140
428	8.963467	-64.164049	-207.378
429	8.962373	-64.153128	-200.377
430	8.936320	-64.169418	-186.804
431	8.930895	-64.169400	-194.979
432	8.930910	-64.163948	-189.717
433	8.930877	-64.174860	-191.245
434	8.930633	-64.180311	-200.651
435	8.930844	-64.185769	-203.297
436	8.925658	-64.180297	-204.080
437	8.909103	-64.196611	-202.475
438	8.909089	-64.202069	-195.033
439	8.914514	-64.201632	-198.097
440	8.914545	-64.191629	-205.803
441	8.925626	-64.191208	-206.395
442	8.919990	-64.185735	-214.740
443	8.919957	-64.196649	-210.630
444	8.925365	-64.202123	-221.395

Estación	Latitud (°) N	Longitud (°) W	Anomalía Magnética (nT)
445	8.908913	-64.185699	-204.798
446	8.914583	-64.180260	-202.052
447	8.912113	-64.174797	-213.346
448	8.914844	-64.169351	-196.763
449	8.909209	-64.163875	-196.164
450	8.914898	-64.076588	-183.973
451	8.914882	-64.082045	-189.258
452	8.909471	-64.076570	-188.498
453	8.914914	-64.071132	-180.296
454	8.920355	-64.065691	-181.906
455	8.914945	-64.060219	-179.510
456	8.909535	-64.054746	-174.808
457	8.909503	-64.065659	-179.585
458	8.920387	-64.054778	-176.767
459	8.925797	-64.060249	-178.514
460	8.931465	-64.054809	-210.966
461	8.930546	-64.060264	-165.631
462	8.930981	-64.065722	-194.647
463	8.941730	-64.174892	-200.136
464	8.941746	-64.169435	-189.992
465	8.947084	-64.196736	-204.547
466	8.947103	-64.191279	-209.385
467	8.947068	-64.202193	-213.963
468	8.957920	-64.202231	-220.603
469	8.952511	-64.196754	-210.347
470	8.932842	-64.196688	-207.697
471	8.930835	-64.114833	-186.139
472	8.931046	-64.120290	-168.485
473	8.909342	-64.120224	-195.360
474	8.914786	-64.114785	-170.100
475	8.925623	-64.121636	-189.759
476	8.925873	-64.032967	-174.204
477	8.920434	-64.038408	-173.742
478	8.931675	-64.136662	-160.391
479	8.925344	-64.136643	-169.108
480	8.925362	-64.131186	-193.225
481	8.925603	-64.125730	-172.986
482	8.914695	-64.142523	-185.746
483	8.946915	-64.140802	-177.728
484	8.974093	-64.164081	-207.003

APÉNDICE E

Mapa regional de Anomalía Magnética de 3^{er} grado



APÉNDICE F

Mapa residual de Anomalía Magnética de 3^{er} grado

